

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DEL SILICIO Y VERMICOMPOST EN EL CRECIMIENTO,
PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN PLANTAS
DE *Moringa oleifera* Lam.**

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

CARINA LIZETH ESPINOZA OROZCO

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

MARZO, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DEL SILICIO Y VERMICOMPOST EN EL CRECIMIENTO,
PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN PLANTAS
DE *Moringa oleifera* Lam.**

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

CARINA LIZETH ESPINOZA OROZCO

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

MARZO, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DEL SILICIO Y VERMICOMPOST EN EL CRECIMIENTO,
PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN PLANTAS
DE *Moringa oleifera* Lam.**

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

CARINA LIZETH ESPINOZA OROZCO

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

MARZO, 2021

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Director

Dr. Fernando de Jesús Carballo Méndez
Codirector

Ph. D. Rigoberto Eustacio Vázquez Alvarado
Asesor

Dr. Guillermo Niño Medina
Asesor

Subdirector de Estudios de Posgrado
Ph. D. Juan Antonio Vidales Contreras

DEDICATORIA

A DIOS. – Por darme la vida, salud, esperanza y por sus infinitas bendiciones.

A MI HIJO DEREK. – Por ser el mayor impulso de mi inspiración y la motivación de seguir adelante, por llenarme de su amor, y por ser lo suficientemente fuerte para tenerme paciencia y para soportar mis ausencias. *¡TE AMO!*

A MI FAMILIA. – Por brindarme su amor, paciencia, apoyo incondicional, y por estar siempre presentes en mi vida.

A MIS AMIGOS (AS). – Por brindarme su valiosa amistad, y por formar parte importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT), por la beca para estudios de posgrado otorgado para el desarrollo de mis actividades académicas, durante el periodo de estudios.

A la **Facultad de Agronomía** de la **Universidad Autónoma de Nuevo León** por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación académica.

Al **Centro de Agricultura Protegida** por la facilitación de las instalaciones y recursos para llevar a cabo la realización del trabajo de investigación.

Al **Honorable Consejo Universitario** por otorgarme la beca por mérito académico para continuar mis estudios a nivel posgrado.

A mi Director de Tesis, **Ph. D. Emilio Olivares**, por brindarme su apoyo, orientación, consejos e interés durante el transcurso de mis estudios, mis más sinceros agradecimientos.

A mis asesores **Dr. Fernando Carballo, Dr. Rigoberto Eustacio y Dr. Guillermo Niño**, por su importante participación en el desarrollo de esta investigación.

Al **Ing. Fernando Cabrieles** por su apoyo, disponibilidad y enseñanza en las actividades realizadas en el laboratorio.

A mis compañeros de generación **Shener Cean, Luis Ordoñez, Dulce Márquez y Eliza Juárez** por su amistad, compañerismo, disponibilidad y apoyo durante el periodo de maestría. ¡MUCHAS GRACIAS!

A todos los que me brindaron su ayuda cuando lo necesité, aprecio mucho su tiempo invertido y su participación. ¡MUCHAS GRACIAS!

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis	4
1.1.1. General.....	4
1.1.2. Específicas	4
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	6
2.1.1. Importancia del cultivo	6
2.1.2. Origen y distribución	7
2.1.3. Producción.....	8
2.1.4. Variedades	8

2.1.5.	Características agronómicas	8
2.1.6.	Condiciones edafoclimáticas	9
2.1.7.	Época de siembra.....	9
2.1.8.	Composición química	10
2.1.9.	Usos	10
2.2.	Silicio (Si)	11
2.3.	Vermicompost	12
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1.	Localización de los Experimentos	14
3.1.1.	Características del invernadero	15
3.2.	Diseño Experimental	15
3.3.	Experimento 1	18
3.3.1.	Material vegetal	18
3.3.2.	Producción de plántulas	18
3.3.3.	Establecimiento del cultivo	20
3.3.4.	Preparación del suelo	20
3.3.5.	Análisis físico - químico del agua.....	21
3.3.6.	Análisis físico - químico del suelo	22
3.3.7.	Trasplante.....	23
3.3.8.	Cosecha	25

3.3.9. Variables evaluadas	25
3.3.9.1. Variables de crecimiento.....	25
3.3.9.2. Medición de clorofila.....	26
3.3.9.3. Biomasa seca.....	26
3.3.10. Análisis de nutrimentos en tejido vegetal	27
3.3.10.1. Digestión de la muestra.....	27
3.3.10.2. Análisis de nitrógeno (N).....	28
3.3.10.3. Digestión.....	29
3.3.10.4. Destilación.....	29
3.3.10.5. Titulación.....	29
3.3.10.6. Análisis de fósforo (P).....	30
3.3.10.7. Análisis de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).....	31
3.4. Experimento 2	32
3.4.1. Material vegetal	32
3.4.2. Producción de plántulas	32
3.4.3. Establecimiento del cultivo	32
3.4.4. Preparación del suelo	33
3.4.5. Análisis físico - químico del suelo	33
3.4.6. Trasplante.....	34

3.4.7. Cosecha	34
3.4.8. Variables evaluadas	34
3.4.8.1. Variables de crecimiento.....	34
3.4.9. Biomasa seca	34
3.4.10. Análisis de nutrimentos en tejido vegetal.	35
3.4.11. Análisis de fósforo (P)	35
3.5. Análisis Estadístico	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. Experimento 1	36
4.1.1. Análisis físico – químico del suelo	36
4.1.2. Variables evaluadas	37
4.1.3. Peso fresco de hojas y tallos	38
4.1.4. Peso seco de hojas y tallos	41
4.1.5. Número de brotes	43
4.1.6. Nitrógeno (N)	45
4.1.7. Fósforo (P).....	46
4.1.8. Potasio (K)	48
4.1.9. Calcio (Ca).....	48
4.1.10. Magnesio (Mg)	49
4.2. Experimento 2	50

4.2.1.	Análisis físico – químico del suelo	50
4.2.2.	Variables evaluadas	50
4.2.3.	Peso fresco de hojas y tallos	51
4.2.4.	Peso seco de hojas y tallos	53
4.2.5.	Nitrógeno (N)	55
4.2.6.	Fósforo (P).....	57
4.2.7.	Potasio (K)	57
4.2.8.	Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)	57
5.	CONCLUSIONES	58
6.	BIBLIOGRAFÍA	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Tratamientos evaluados	16
2	Análisis físico – químico del agua “Experimento 1 y 2”	22
3	Análisis físico – químico del suelo “Experimento 1”	36
4	Análisis de varianza (ANVA) para variables de crecimiento y biomasa “Experimento 1”	37
5	Análisis de varianza (ANVA) para el peso fresco de hojas “Experimento 1”	39
6	Análisis de varianza (ANVA) para el peso fresco de tallos “Experimento 1”	40
7	Análisis de varianza (ANVA) para el peso seco de hojas “Experimento 1”	41
8	Análisis de varianza (ANVA) para el peso seco de tallos “Experimento 1”	42
9	Análisis de varianza (ANVA) para el número de brotes “Experimento 1”	44
10	Comparación de medias de número de brotes para Si “Experimento 1”	44
11	Comparación de medias de número de brotes para vermicompost “Experimento 1”	45
12	Análisis de varianza (ANVA) para la concentración foliar de N “Experimento 1”	46

13	Comparación de medias de concentración foliar de N para vermicompost “Experimento 1”	46
14	Análisis de varianza (ANVA) para la concentración foliar de P “Experimento 1”	46
15	Comparación de medias de la concentración foliar de P de los niveles de Si dentro de los niveles de vermicompost “Experimento 1”	47
16	Comparación de medias de la concentración de P de los niveles de vermicompost dentro de los niveles de Si “Experimento 1”	47
17	Análisis de varianza (ANVA) para la concentración foliar de K “Experimento 1”	48
18	Comparación de medias de concentración foliar de K para vermicompost “Experimento 1”	48
19	Análisis de varianza (ANVA) para la concentración foliar de Mg “Experimento 1”	49
20	Comparación de medias de concentración foliar de Mg para vermicompost “Experimento 1”	49
21	Análisis físico – químico del suelo “Experimento 2”	50
22	Análisis de varianza (ANVA) para las variables de biomasa “Experimento 2”	51
23	Análisis de varianza (ANVA) para el peso fresco de hojas “Experimento 2”	51

24	Análisis de varianza (ANVA) para el peso fresco de tallos “Experimento 2”	52
25	Comparación de medias de peso fresco de hojas para Si “Experimento 2”	52
26	Comparación de medias de peso fresco de tallos para Si “Experimento 2”	52
27	Comparación de medias de peso fresco de hojas para vermicompost “Experimento 2”	53
28	Comparación de medias de peso fresco de tallos para vermicompost “Experimento 2”	53
29	Análisis de varianza (ANVA) para el peso seco de hojas “Experimento 2”	54
30	Análisis de varianza (ANVA) para el peso seco de tallos “Experimento 2”	54
31	Comparación de medias de peso seco de hojas para Si “Experimento 2”	54
32	Comparación de medias de peso seco de tallos para Si “Experimento 2”	54
33	Comparación de medias de peso seco de hojas para vermicompost “Experimento 2”	55
34	Comparación de medias de peso seco de tallos para vermicompost “Experimento 2”	55

35	Análisis de varianza (ANVA) de la concentración foliar de N “Experimento 2”	56
36	Comparación de medias de concentración foliar de N para Si “Experimento 2”	56
37	Comparación de medias de concentración foliar de N para vermicompost “Experimento 2”	56
38	Análisis de varianza (ANVA) de la concentración foliar de K “Experimento 2”	57
39	Comparación de medias de concentración foliar de K para vermicompost “Experimento 2”	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Ubicación del experimento	14
2	Invernadero gótico	15
3	Mapa del diseño experimental en campo	17
4	Siembra en charolas de propagación	19
5	Producción de plántulas	20
6	Preparación del suelo en el invernadero	21
7	Trasplante, aplicación de Si	24
8	Efecto del Si en el peso fresco de hojas (g)	39
9	Efecto del Si en el peso fresco de tallos (g)	40
10	Efecto del Si en el peso seco de hojas (g)	42
11	Efecto del Si en el peso seco de tallos (g)	43

RESUMEN

La moringa (*Moringa oleifera* Lam.) es una planta de gran importancia a nivel mundial, debido a sus múltiples aplicaciones para fines medicinales, nutricionales, sanitarios e industriales. El silicio (Si) es un elemento mineral que tiene efectos favorables en la fisiología de las plantas, por lo que es importante el estudio de este elemento en la producción de moringa. El objetivo del trabajo consistió en evaluar el efecto del Si y vermicompost, en plantas de moringa variedad Vaina Larga, en donde se midió el crecimiento, número de hojas, unidades SPAD, contenido de biomasa en hojas y tallos y la concentración nutrimental (N, P, K, Ca y Mg) del tejido vegetal. Los tratamientos fueron evaluados con un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento con un arreglo factorial 3*2: tres niveles de Si (0 Si, 50 ppm de Si en aplicación foliar y 50 ppm en aplicación al suelo) y dos niveles de vermicompost (0 t ha⁻¹ y 10 t ha⁻¹). Los resultados mostraron diferencia estadística significativa entre los niveles de Si, siendo la aplicación de 50 ppm al suelo el nivel con mayor producción de biomasa en peso fresco y seco, también mostraron que el Si tiene efecto en la concentración de N. La aplicación de vermicompost incrementó la concentración de N y K y disminuyó la concentración de Mg.

Palabras clave: *abono orgánico, concentración nutrimental, dióxido de silicio.*

ABSTRACT

Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) is a plant of great importance worldwide, due to its multiple applications for medicinal, nutritional, health and industrial purposes. Silicon is a mineral element that has shown to have favorable effects on the physiology of plants, so it is important to study the factors that affect the production of this crop. The objective of the work consisted of evaluating the effect of silicon (Si) and vermicompost, in plants of moringa. The variables measured were growth, number of leaves, SPAD units, biomass content in leaves and stems and the nutrient concentration (N, P, K, Ca and Mg) of the plant tissue. The treatments were evaluated with a completely randomized experimental design with four repetitions per treatment with a 3 * 2 factorial arrangement: three levels of Si (0 Si, 50 ppm Si in foliar and soil application) and two levels of vermicompost (0 t ha⁻¹ and 10 t ha⁻¹). The results showed a statistically significant difference between Si levels, with the application of 50 ppm to the soil being the level with the highest biomass production in fresh and dry weight, they also showed that Si influenced N concentration and that vermicompost increased the concentration of N and K and decreased the concentration of Mg.

Keywords: *organic fertilizer. nutrient concentration, silicon dioxide.*

1. INTRODUCCIÓN

Moringa oleifera Lam. es una planta perenne de hoja caduca, pertenece a la familia Moringaceae (Amaglo *et al.*, 2010; Gonzalez-Carrion y Prieto, 2020). Es un árbol con alto potencial agrícola, tiene buena plasticidad ecológica, se desarrolla en suelos poco fértiles y en regiones áridas y semiáridas, es resistente a la sequía y al estrés salino, su crecimiento es acelerado, por lo tanto, produce grandes cantidades de biomasa (Boukandoul *et al.*, 2018; Tshabalala *et al.*, 2019; Kou *et al.*, 2018). Las hojas contienen altos niveles de aminoácidos esenciales, vitaminas, proteínas, antioxidantes, flavonoides y minerales entre los que se encuentran el zinc, calcio, cobre, hierro, fósforo, potasio y magnesio (Singh *et al.*, 2020). Por lo anterior, esta planta es muy conocida debido a las propiedades nutricionales, medicinales, industriales, alimenticias y ambientales que posee (Saucedo-Pompa *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2011; Estrada-Hernández *et al.*, 2016; Velázquez-Zavala *et al.*, 2016; Mora y Gacharná, 2015).

El silicio (Si) es el segundo elemento en abundancia en la corteza terrestre (Osterrieth *et al.*, 2019), sin embargo, la cantidad de Si disponible en el suelo para la absorción por parte de las plantas es muy bajo (Carballo-Méndez, 2019). Aunque no ha sido considerado como elemento esencial para las plantas, se ha demostrado que tiene efectos favorables en el desarrollo, crecimiento y respuesta positiva de las

plantas a diferentes tipos de estrés, por lo que se ha considerado como un elemento benéfico (Zhang *et al.*, 2019). También se ha demostrado que las plantas que crecen con carencia de Si son más susceptibles a plagas, estrés, toxicidad por metales pesados, y estructuralmente son de menor volumen y tienen un desarrollo débil (Pérez y Mancilla, 2012).

El vermicompost es un abono orgánico que resulta del proceso de bio-oxidación y de la transformación de los residuos orgánicos por parte de las lombrices y de los microorganismos (Paco *et al.*, 2011; Villegas-Cornelio y Laines, 2017), por lo que estimula la actividad microbiana y hace que los nutrimentos se encuentren en disposición para ser absorbidos por las plantas favoreciendo positivamente la germinación, crecimiento y rendimiento de estas (Pradas, 2020; Vázquez y Loli, 2018). En la agricultura se utiliza como mejorador del suelo agrícola (Villegas-Cornelio y Laines, 2017). Por otra parte, investigadores han encontrado que este abono orgánico puede mejorar significativamente las defensas de las plantas (Xiao *et al.*, 2016)

La moringa es una planta con mucho potencial nutracéutico, alimenticio y forrajero, mientras que el Si es un elemento que ha captado la atención por los beneficios que aporta a las plantas, al medio ambiente, a los humanos, entre otras cosas, y por último que el vermicompost es un abono orgánico que mejora el suelo, aporta nutrimentos y tiene efectos benéficos en las plantas. Por lo antes mencionado, la presente investigación se fundamenta en la limitada información que existe respecto a la influencia del Si y vermicompost en el comportamiento de plantas de moringa respecto al crecimiento, a la producción de biomasa y al contenido nutrimental. El

objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del Si y vermicompost en plantas de moringa de la variedad “Vaina Larga” en el crecimiento, producción de biomasa y en la concentración nutrimental de los principales cinco macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg), tomando en cuenta la altura de planta, número de hojas, número de brotes, peso fresco y seco de hojas y tallos.

1.1. Hipótesis

1.1.1. General

- Las plantas de moringa bajo la aplicación de Si e incorporación de vermicompost tendrán un efecto positivo en la producción de biomasa y contenido de nutrimentos.

1.1.2. Específicas

- Las plantas de moringa tendrán una respuesta favorable mediante la aplicación de Si y vermicompost sobre el crecimiento vegetativo.
- La incorporación de Si y vermicompost en el cultivo de moringa tienen un efecto positivo sobre la producción de biomasa.
- El Si y vermicompost tienen efecto en el metabolismo de la planta, por lo que la concentración de nutrimentos en el tejido vegetal de moringa es afectada por estos factores.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de Si y vermicompost sobre la producción de biomasa y contenido de nutrimentos en plantas de *Moringa oleifera* Lam.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del Si y vermicompost sobre el crecimiento vegetativo en plantas de *Moringa oleifera* Lam.
- Evaluar el efecto del Si y la vermicompost en la producción de biomasa en plantas de moringa.
- Evaluar el efecto de la aplicación de Si y vermicompost en la concentración de los nutrimentos N, P, K, Ca y Mg en el tejido vegetal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. *Moringa oleifera* Lam.

2.1.1. Importancia del cultivo

Moringa oleifera Lam es una planta a la cual se le han atribuido numerosas propiedades benéficas, tiene un alto contenido de vitaminas y minerales por lo que se utiliza como suplemento en la alimentación humana y animal, sus semillas se utilizan para la purificación de aguas turbias por su poder coagulante y para la obtención de aceite ya que se le atribuyen propiedades antisépticas y antiinflamatorias (Meza-Leones *et al.*, 2018; Paniagua y Chora, 2016; Saini *et al.*, 2016; Sánchez-Peña *et al.*, 2013; Saucedo-Pompa *et al.*, 2018).

Los componentes bioactivos que caracterizan a esta planta pueden tener diferentes aplicaciones industriales y alimentarias, sus hojas contienen altos niveles de aminoácidos esenciales, proteínas, antioxidantes y flavonoides (Oyeyinka y Oyeyinka, 2018; Singh *et al.*, 2020).

Magaji *et al.* (2020) mencionan que los extractos de moringa contienen propiedades antidiabéticas. Se han encontrado fitoquímicos presentes en esta planta con efecto

antioxidante, antimicrobiana, anticancerígena, los cuales tienen efectos positivos en la salud (Amaglo *et al.*, 2010; Falowo *et al.*, 2018; Olson y Fahey, 2011).

Los extractos de las hojas maduras y tiernas de moringa contienen una alta actividad antioxidante (Echavarria *et al.*, 2016; Sreelatha y Padma, 2009). Estas propiedades están asociadas a la quelación de metales y a una mayor captura de los radicales libres (Verma *et al.*, 2009). Las hojas de moringa contienen compuestos fenólicos simples, entre los que se encuentran el ácido gálico, ácido clorogénico y ácido cumárico (Guzmán-Maldonado y Díaz-Fuentes, 2017).

2.1.2. Origen y distribución

Moringa oleifera Lam. es un árbol perteneciente de la familia Moringaceae, es originaria de la India y de África (Amaglo *et al.*, 2010), nativa de las montañas del sur del Himalaya (Kou *et al.*, 2018) territorios de India, Pakistán, Bangladesh y Afganistán (Fahey, 2005).

Este árbol se ha extendido en muchos lugares del mundo, lo que le ha ocasionado que adquiriera diferentes nombres (Zainab *et al.*, 2020). Es un árbol de gran plasticidad ecológica (Pérez *et al.*, 2010) y es una planta que se cultiva en diversas zonas del mundo como los trópicos y subtrópicos, se desarrolla bajo diferentes condiciones ambientales (Leone *et al.*, 2015; Martín *et al.*, 2013), y muestra una respuesta favorable en suelos ácidos y alcalinos (Sánchez-Peña *et al.*, 2013).

Se encuentra presente en 15 estados de la República Mexicana, de los cuales la mayoría de estos estados se encuentran distribuidos en la costa del Pacífico (Olson y Alvarado-Cárdenas, 2016).

2.1.3. Producción

En México existe una producción de moringa que abarca desde el sur de Sonora hasta Chiapas (Guillén-Román *et al.*, 2018). En Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Jalisco y Yucatán puede ser cultivada con condiciones idóneas para su explotación (Bocarando-Guzmán *et al.*, 2019).

2.1.4. Variedades

Las principales variedades utilizadas para la producción de *Moringa oleifera* son: Variedad Supergenius, Variedad Plain, Variedad Criolla, que fue introducida desde 1909), y la Variedad Nicaragua (Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018a; Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018b; Mitjans *et al.*, 2016).

2.1.5. Características agronómicas

Moringa oleifera Lam. es una planta que se caracteriza por su rápido crecimiento, adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, resistencia a sequías y a la salinidad, tales características la consideran una planta con gran importancia agrícola para la explotación y es utilizada para la producción de forraje y alimentación del ganado (Martín *et al.*, 2013; Padilla *et al.*, 2014; Sánchez-Peña *et al.*, 2013).

Esta planta tiene una gran capacidad de rebrote, lo que resulta benéfico para la producción de biomasa fresca en sistemas de plantación de alta densidad (Padilla *et al.*, 2014).

Meza *et al.* (2016) mencionan que el crecimiento, desarrollo y producción de biomasa en plantas de moringa puede variar de acuerdo con las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo.

2.1.6. Condiciones edafoclimáticas

Moringa oleifera Lam. es un árbol con gran plasticidad ecológica (Pérez *et al.*, 2010). Olson y Alvarado-Cárdenas (2016) mencionan que el árbol de *Moringa oleifera* tiene mayor potencial cuando se desarrolla en zonas tropicales con temperaturas mínimas superiores de los 15 °C, con una precipitación menor a los 1,000 mm y altitudes de hasta 600 msnm. Aunque se ha encontrado la presencia de esta planta en zonas donde la precipitación varía de 300 a 1500 mm anuales (Padilla *et al.*, 2017).

Es una planta que tiene buen crecimiento y desarrollo en suelos con pH de 4-8, es una buena productora de biomasa fresca por lo que se considera para la alimentación animal (Pérez *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2013). “Durante los meses más fríos soporta entre 1°C y 3°C, mientras que en los meses más cálidos de 38°C a 48°C. Es importante resaltar, que una vez que las temperaturas alcanzan valores inferiores a 10°C se perjudica el proceso de floración, de manera que en estos casos la propagación se debe realizar por estacas” (Padilla *et al.*, 2017).

2.1.7. Época de siembra

El método de propagación puede realizarse de manera sexual y asexual (Padilla *et al.*, 2017), la siembra se realiza de forma manual ya sea de manera directa o en viveros, a una profundidad de 2 cm ya que proporciona una mejor respuesta en

cuanto a la velocidad de emergencia (Padilla *et al.*, 2017; Pérez *et al.*, 2010; Roa, 2003), las semillas pueden germinar en un periodo de 10 días (Pérez *et al.*, 2010).

Padilla *et al.* 2017 encontraron que plantas sembradas a una distancia de 30 cm obtuvieron un mayor crecimiento. La siembra puede realizarse en cualquier época del año, preferentemente cuando sea época de lluvia (Padilla *et al.*, 2017; Reyes, 2004).

2.1.8. Composición química

Las hojas, tallos y raíces de moringa son ricas en aminoácidos, antioxidantes naturales, vitaminas y minerales entre los que se encuentran el zinc, calcio, cobre, hierro, fósforo, potasio y magnesio (Mahmood *et al.*, 2010; Mathur, 2005; Ruiz *et al.*, 1998; Singh *et al.*, 2020; Valdez-Solana *et al.*, 2015), además contiene una gran cantidad de compuestos fenólicos y antioxidantes, lo que la hace una planta de gran importancia por sus propiedades benéficas.

La moringa es una buena fuente de vitamina A, B, C y E por lo que es una buena opción para tratar a niños con desnutrición (Oz, 2014).

2.1.9. Usos

Moringa oleifera es una planta que es explotada por sus múltiples usos y propiedades medicinales. Se utiliza en la alimentación animal como forraje y suplemento proteínico (Martín *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2010; Toral *et al.*, 2013); en el consumo humano por la cantidad de fitoquímicos que contiene y es una planta recomendada por las Naciones Unidas para complementar la dieta tanto en niños como en adultos (Mahmood, *et al.*, 2010; Toral *et al.*, 2013; Velázquez-Zavala *et al.*,

2016). Por otra parte, se recomendada en la industria para la producción de etanol y biodiesel ya que las semillas son ricas en aceite con un contenido de 31-47% (Falasca y Bernabé, 2008; Garavito, 2008; Toral *et al.*, 2013). Se utiliza en la industria alimentaria para la producción de galletas y panes (Asensi *et al.*, 2017).

La moringa es utilizada en diferentes países y culturas como planta medicinal para el tratamiento de diferentes enfermedades, se utilizan todas sus partes para este propósito, ha sido utilizada para el tratamiento de hipertensión y glucosa en la sangre (Goyal *et al.*, 2007; Martín *et al.*, 2013; Padayachee y Baijnath, 2012). Sus semillas se utilizan por su efecto coagulante y antimicrobial para el tratamiento de aguas (Saini *et al.*, 2016).

2.2. Silicio (Si)

El silicio (Si) es el segundo elemento en abundancia en la corteza terrestre (Osterrieth *et al.*, 2019). Sin embargo, la cantidad de Si disponible para absorción por parte de las plantas es muy baja. La planta absorbe el Si en forma de ácido monosilícico (H_4SiO_4) y en esta forma se encuentra en la savia del xilema (Castellanos *et al.*, 2015; Matichenkov, 2008; Włodarczyk *et al.*, 2019). “El Si absorbido por las raíces es transportado a la parte aérea y depositado intra o extracelularmente en los tejidos vegetales como sílice amorfo hidratado ($\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_2\text{O}$)” (González *et al.*, 2015).

El Si no ha sido considerado como un elemento esencial para las plantas, no obstante, este elemento tiene efectos favorables en el desarrollo y crecimiento de las plantas que creen bajo estrés, por lo que se ha considerado como un elemento benéfico (Ma *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2019).

Pérez y Mancilla (2012) señalan que las plantas que crecen con carencia de Si son plantas que son más susceptibles a plagas, estrés, toxicidad por metales pesados, y estructuralmente son de menor volumen y tienen un desarrollo débil. Aplicaciones de Si en plantas de arroz las hace resistentes a plagas y enfermedades (Tapia, 2019).

En varios estudios se han reportado efectos benéficos de la aplicación de Si, como en el realizado por Ji *et al.* (2017), quienes descubrieron que el Si aumentó la producción de biomasa y redujo la contaminación de metales pesados como el cadmio (Cd) en plantas de arroz. Villalón *et al.* (2018) encontraron que la aplicación de dióxido de Si en el cultivo de chile piquín mejoró el crecimiento y la calidad de la planta. Higueta (2015) mencionó que aplicaciones de Si con Magnesio mejoró la productividad y sanidad en el cultivo de caña de azúcar.

El efecto benéfico del Si también se encontró en plantas de moringa, en donde se evidencio que el Si incremento el contenido de fenoles y polifenoles en la planta, así como su capacidad antioxidante, por lo que aplicaciones de este elemento en moringa incrementarían la calidad alimenticia de esta planta (Carballo-Méndez, 2019).

2.3. Vermicompost

El vermicompost se caracteriza por contener grandes cantidades de sustancias húmicas y otros materiales que favorecen el crecimiento de las plantas, entre los que se encuentran los reguladores de crecimiento (Arancon *et al.*, 2004; Villegas-Cornelio y Laines, 2017). Es el resultado del proceso de bio-oxidación y

transformación de los residuos orgánicos por parte de las lombrices y de los microorganismos (Paco *et al.*, 2011; Villegas-Cornelio y Laines, 2017).

En la agricultura se utiliza como abono orgánico con el propósito de mejorar el suelo (Mogollón *et al.*, 2011). Este abono orgánico es de gran importancia agrícola ya que es un promotor de la actividad biológica del suelo, la cual tiene efectos que favorecen la germinación, crecimiento y rendimiento de las plantas, sin importar la cantidad de nutrientes que se encuentren disponibles para la planta (Atiyeh *et al.*, 2000; Pradas, 2020).

Xiao *et al.* (2016), encontraron que la aplicación de vermicompost en plantas de tomate disminuyó considerablemente el número de agallas inducidas por nemátodos en plantas susceptibles y resistentes, además aumentó las concentraciones de metabolitos de defensa de la raíz, por lo que puede mejorar significativamente las defensas de las plantas.

Los fertilizantes orgánicos como el vermicompost hacen que los nutrimentos se encuentren en disposición para ser absorbidos por las plantas, afectando positivamente el crecimiento y desarrollo (Vázquez y Loli, 2018), cabe mencionar que es un proceso lento por lo que no se tiene una disponibilidad del 100% de los nutrimentos para las plantas, pero van estando disponibles para la planta conforme los vaya requiriendo (Chaoui *et al.*, 2003).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de los Experimentos

El presente trabajo fue realizado en las instalaciones del Centro de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía de la UANL, localizado en el Campus de Ciencias Agropecuarias en el municipio de Gral. Escobedo, N.L., con una ubicación geográfica de 25° 47' 07'' latitud Norte, 100° 17' 03'' longitud Oeste y altitud de 479 msnm (Figura 1) (INEGI, 2018). El clima de la región es considerado semiárido, con una precipitación de 550 mm y una temperatura media anual de 23 °C (SMN, 2018).

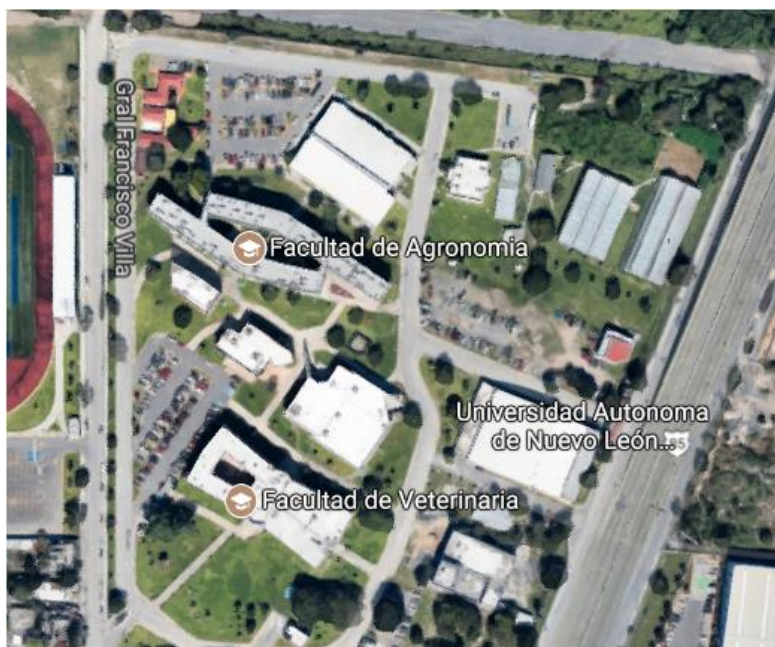


Figura 1. Ubicación de los experimentos (INEGI, 2018)

3.1.1. Características del invernadero

El invernadero donde se llevó a cabo la investigación es de tipo gótico, con una superficie de 1,000 m², el cual tiene una altura aproximada de 4.5 m a la canaleta y 5.5 m a la cenital, estando su parte más alta a los 7 m. El invernadero es considerado de tecnología media-baja (Figura 2).



Figura 2. Invernadero gótico

3.2. Diseño Experimental

En el presente estudio se realizaron dos experimentos en los años 2019 y 2020, los cuales estarán referenciados como Experimento 1 y Experimento 2. En ambos experimentos se utilizó un arreglo factorial (3 x 2), tres niveles de Si y dos de vermicompost. Los tratamientos (Cuadro 1) se establecieron en un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones.

El experimento se llevó a cabo en un área de 34.56 m², utilizando una parcela de 1.80 m de largo por 0.80 m de ancho, con 12 plantas como unidad experimental y una parcela útil de seis plantas sembradas a doble hilera con una plantación a tresbolillo y con una distancia entre plantas de 0.30 m (Figura 3).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados.

Tratamientos	Si	Vermicompost
T1	0	0
T2	50 ppm de Si foliar	0
T3	50 ppm de Si al suelo	0
T4	0	10 t ha ⁻¹
T5	50 ppm de Si foliar	10 t ha ⁻¹
T6	50 ppm de Si al suelo	10 t ha ⁻¹

3.3. Experimento 1

3.3.1. Material vegetal

Las plantas de moringa que se utilizaron corresponden a la variedad “Vaina Larga”, producida en el Centro de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía, UANL. Para la siembra se seleccionaron 400 semillas, considerando la uniformidad, el tamaño y color (café oscuro).

3.3.2. Producción de plántulas

La siembra de semillas de moringa se realizó en charolas de propagación el día 17 de junio del 2019.

- Lavado y desinfección de charolas: Para la siembra se utilizaron dos charolas de propagación de poliestireno con 200 cavidades, las cuales fueron lavadas con detergente y cepilladas, procurando cepillar a fondo las cavidades de las charolas, posteriormente fueron desinfectadas con una solución a base de hipoclorito de sodio al 1%, esto con la finalidad de evitar enfermedades en las plántulas.
- Preparación del sustrato: el sustrato utilizado fue turba (Peat Moss Sunshine ® Mezcla 3). La preparación del sustrato se realizó colocando 10 L de turba en un recipiente con una capacidad de 40 L, posteriormente se mezcló para deshacer los grumos y se le agregó agua manualmente en pequeñas cantidades hasta humedecer uniformemente el sustrato (Figura 4).
- Posteriormente se incorporó el sustrato en las cavidades de la charola de propagación dando pequeños golpes por la parte inferior de esta, con la

finalidad de que el sustrato invadiera los espacios de los orificios de la charola de propagación, nuevamente se colocó otra capa de sustrato para cubrir en su totalidad las cavidades. A continuación, se hicieron los orificios con una profundidad de 1.0 cm, en seguida se colocaron las semillas y se cubrieron con sustrato (Figura 4).

- El primer riego se realizó con un aspersor manual, posteriormente las charolas se cubrieron con bolsas de plástico para conservar la humedad y favorecer la germinación y emergencia.
- Las charolas fueron monitoreadas diariamente para controlar la humedad del sustrato y visualizar las primeras plántulas emergidas. Las bolsas fueron retiradas de las charolas después de 7 días de la siembra, tomando como referencia las primeras plántulas emergidas.



Figura 4. Siembra en charolas de propagación

3.3.3. Establecimiento del cultivo

El 24 de junio del 2019 se observaron las primeras plantas emergidas de moringa, por tal motivo las charolas fueron colocadas en un invernadero para continuar con el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Figura 5). La fertilización se realizó cuando aparecieron las primeras hojas verdaderas en las plántulas, aplicando 1 g por L de agua de la fórmula 18-18-18 (N, P_2O_5 , K_2O).



Figura 5. Producción de plántulas

3.3.4. Preparación del suelo

La preparación del suelo consistió en la limpieza del invernadero y extracción del material vegetal existente en el terreno. Posteriormente, el suelo se preparó con dos pasos de un roto cultivador marca Husqvarna® a una profundidad de 0.30 m (Figura 6). Así mismo, se realizó la elaboración de la cama con una longitud de 46 m de largo y 0.80 m de ancho.

La incorporación de vermicompost se realizó manualmente con una dosis de 10 t ha⁻¹, a una profundidad de 15 cm. Posteriormente se realizó la colocación del sistema de riego por goteo (Figura 6).



Figura 6. Preparación del suelo en el invernadero

3.3.5. Análisis físico - químico del agua

El agua es el recurso de mayor importancia en la producción agrícola por lo que existe la necesidad de conocer sus propiedades físico – químicas antes de establecer un cultivo.

El análisis del agua se realizó en la Facultad de Agronomía UANL, Campus experimental Unidad Marín, en el laboratorio de suelos, aguas y tejido vegetal. La muestra se tomó de un pozo profundo ubicado en el Campus de Ciencias Agropecuarias. Para la colecta de la muestra, el agua se dejó correr durante media hora antes de tomar la muestra. La muestra se colocó en un recipiente de 1.0 L de capacidad, el cual fue enjuagado tres veces con el agua del pozo y posteriormente se recolectó el agua para el análisis, los resultados del análisis se muestran en el (Cuadro 2), los cuales se tomaron como referencia para los dos experimentos.

De acuerdo con los resultados el agua de riego se clasifica como muy salina, con niveles bajos de sodio, problemas moderados en bicarbonatos y niveles altos de cloruros.

Cuadro 2. Análisis físico - químico del agua “Experimento 1”.

PARÁMETRO	DATOS	UNIDAD DE MEDIDA
pH	6.9	-----
CE	2.26	μS/cm
Ca	13	meq/L
Mg	6.6	meq/L
Na	3	meq/L
Σ de cationes	22.6	meq/L
Σ de aniones	22.6	meq/L
HCO ₃ ⁻	6.9	meq/L
Cl	8.05	meq/L
SO ₄	7.65	meq/L
SE	9.6	meq/L
SP	11.87	meq/L
CSR	-12.7	meq/L
RAS	0.95	%
PSP	31.25	%

SE= Salinidad efectiva, SP= Salinidad potencial, CSR= Carbonato de sodio residual, RAS= Relación de adsorción del sodio, PSP= Porcentaje de sodio probable.

3.3.6. Análisis físico - químico del suelo

El análisis de suelo se determinó en la Facultad de Agronomía UANL, Campus experimental Unidad Marín y en el campus de General Escobedo.

El procedimiento para la realización de la toma de muestra se estableció de acuerdo con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), el cual consistió en tomar varias submuestras con una profundidad de 0-30 cm y a partir de las submuestras se formó una muestra compuesta.

En el laboratorio de suelos, aguas y tejido vegetal de la unidad Marín, se determinaron las siguientes variables:

- Relación pH (Relación Suelo-Agua 1:2)
- Textura (por el método del hidrómetro)
- Materia Orgánica (MO) (por el método de Walkley y Black)
- Nitrógeno Total (por el método Kjeldahl)
- Fósforo (por el método de Olsen Modificado).

En el laboratorio de biorremediación se determinó:

- Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K) por espectroscopia de absorción atómica.

Los resultados del análisis físico – químico del suelo se presentan en el apartado de resultados del Experimento 1.

3.3.7. Trasplante

El trasplante se llevó a cabo el 4 de julio del 2019, en suelo húmedo. El método de siembra fue a tresbolillo con una separación entre plantas de 30 cm (Figura 7).

Las aplicaciones de los tratamientos se llevaron a cabo semanalmente a partir del 12 de julio del 2019 durante siete semanas antes del corte. Para evitar la contaminación entre tratamientos al momento de su aplicación, se fabricó una cortina de plástico para colocarla entre cada tratamiento y evitar el error experimental por contaminación (Figura 7).



Figura 7. Trasplante, aplicación de Si

Las plantas tuvieron un rápido crecimiento del tallo principal, por lo que hubo necesidad de colocar una rafia para sostener las plantas, en un sistema semejante al que se utiliza en la producción de tomate en invernadero.

Los riegos se aplicaron cada tercer día o en ocasiones diariamente cuando la temperatura en el invernadero era superior a los 35°C.

En el período en el que se desarrolló el cultivo, en el invernadero hubo presencia de algunas malezas, las cuales fueron removidas antes de que alcanzaran los 15 cm de altura. También hubo presencia de algunas plagas como trips y araña roja, las cuales fueron controladas utilizando una rotación de los siguientes productos químicos: tipo insecticida – acaricida de ingrediente activo: Abamectina; insecticidas de ingrediente activo: Lambda cyhalotrina y un producto orgánico a base de extracto de canela, los cuales fueron aplicados en las dosis recomendadas, tomando las medidas de precaución y aplicación de los productos químicos.

3.3.8. Cosecha

El corte de moringa se realizó el 2 y 3 de septiembre del 2019 (60 días después del trasplante), cuando las plantas alcanzaron una altura promedio de 1.8 m, se realizó el corte a una altura de 20 cm sobre el nivel del suelo utilizando tijeras de poda. Posteriormente se separaron las hojas del tallo y se colocaron en bolsas de papel para la cuantificación de materia fresca de hojas, posteriormente el tallo se diseccionó en segmentos de 25 cm y se colocaron en bolsas de papel para la cuantificación de materia fresca de tallo.

3.3.9. Variables evaluadas

3.3.9.1. Variables de crecimiento

El crecimiento de la planta se evaluó tomando las siguientes variables: altura de planta, número de hojas y número de brotes.

La variable de altura de planta se evaluó en centímetros, la cual fue estimada a partir de la parte basal del tallo hasta el meristemo apical de la planta, las plantas se tutoraron con rafia, la cual se utilizó para esta medición. La metodología consistió en marcar en la rafia la parte del meristemo apical de la planta semanalmente, y se registró la diferencia de medidas entre dos semanas, al final se realizó el cálculo para obtener el dato de altura.

La variable del número de hojas fue estimada utilizando la misma metodología que se utilizó en la altura, solo se registraron las nuevas hojas en cada medición de altura.

Para la variable brotes el dato se registró 15 días posteriores al corte ya que la moringa es una planta con buena capacidad de rebrote.

3.3.9.2. Medición de clorofila

Para la medición de clorofila en la hoja de moringa se seleccionó la hoja recientemente madura a partir de la parte apical, la medición se realizó antes del corte, utilizando un medidor de clorofila SPAD 502 Plus, marca Minolta, los resultados se registraron en unidades SPAD.

3.3.9.3. Biomasa seca

Para la determinación de biomasa seca, se colocaron las bolsas de papel con las muestras de tallo y hoja en un deshidratador solar ubicado en el Centro de Agricultura Protegida durante un periodo de 7 días, posteriormente para garantizar un secado uniforme, las muestras fueron colocadas en un deshidratador marca YAMATO a una temperatura de 60° C, y finalmente se registraron los datos de biomasa seca de hojas y tallos. Las muestras secas fueron molidas y tamizadas con una malla del número 30, con una apertura de 600 µm.

Las muestras secas se utilizaron para la determinación de nutrimentos en el tejido vegetal.

3.3.10. Análisis de nutrimentos en tejido vegetal

3.3.10.1. Digestión de la muestra

Esta fase hace referencia al hecho de obtener los elementos químicos totales acumulados en todas las hojas de la planta. El procedimiento para la incineración en seco se realizó por triplicado de la siguiente manera:

1. Se pesó 1 g de muestra en un crisol Gooch.
2. Posteriormente se colocaron los crisoles con la muestra en la Mufla; las muestras permanecieron en la mufla por un período de cuatro horas a una temperatura de 550° C.
3. Las muestras permanecieron por 24 horas en la mufla, para que se enfriaran.
4. Las muestras se retiraron de la mufla y se colocaron en un desecador.
5. Las cenizas en los crisoles se humedecieron con agua destilada.
6. Al mismo tiempo se colocaron en la campana de extracción de gases y se agregaron 2 ml de HCL concentrado a cada crisol con una micropipeta (con precaución para evitar pérdidas de ceniza y contaminación).
7. Posteriormente los crisoles se ubicaron en una plancha caliente para evaporación lenta, esto con el objetivo de deshidratar para que no interfiriera en la determinación de fósforo, terminada la digestión se retiraron de la plancha para su enfriamiento.
8. Se agregaron 25 ml de HCL al 1 N a cada crisol para su filtrado considerando lo siguiente:

- Se colocó el papel filtro Whatman N° 1 de 110 mm en embudos específicos para estas medidas.
- Una vez colocado el filtro se humedeció con agua bidestilada, esto permite que no se mueva el filtro y se previene perdidas de muestra por absorción.
- Se sacudió el embudo para liberar el exceso de agua.
- Los embudos se colocaron sobre frascos de 40 ml (Identificados).
- Se agregaron 15 ml de HCL 1 N a cada crisol y se mezcló utilizando un lápiz de vidrio, removiendo las cenizas de las paredes del crisol.
- Se vació el contenido sobre el embudo con el filtro.
- Se agregaron los 10 ml restantes de HCL 1 N al crisol, nuevamente se diluyeron y vaciaron sobre el embudo.
- Se esperó a que filtrara y se retiró el embudo.
- Los frascos se almacenaron para la determinación de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

3.3.10.2. Análisis de nitrógeno (N)

La determinación de Nitrógeno se obtuvo a través del método Kjeldahl, el cual se caracteriza por el uso de ebullición y ácido sulfúrico concentrado que favorece la descomposición oxidativa de la materia orgánica de la muestra y la reducción del N orgánico a amoníaco, el amonio es retenido como bisulfato de amonio y posteriormente puede ser determinado in situ o por destilación alcalina y titulación. (Romero, 1997).

Para la determinación de N se utilizó la metodología de micro Kjeldahl:

3.3.10.3. Digestión

1. Se pesó 0.1 g de muestra y se colocó en un matraz micro Kjeldahl.
2. Se agregó 1 g de mezcla catalizadora (10 gr de K_2SO_4 , 0.5 gr de $CuSO_4$).
3. Se agregaron 8 perlas de vidrio.
4. Se agregaron 3 ml de H_2SO_4 .
5. Se colocó en el tren de digestión (en este periodo se rotaron los matraces cada 15 min), la digestión se consideró terminada después de 1 h 15 min, cuando la solución mostró un color azul verdoso.
6. Se dejó enfriar y se añadieron 100 ml de agua destilada, posteriormente se colocó la solución en un matraz Kjeldahl.

3.3.10.4. Destilación

1. En un matraz Erlenmeyer se vertieron 25 ml de H_3BO_3 al 4% y cinco gotas de indicador (rojo de metilo y verde de bromocresol). El tubo inferior del refrigerante del tren de destilación se colocó en el interior de dicho matraz.
2. Al matraz Kjeldahl se le agregaron varias granallas de zinc, y 20 ml de NaOH al 40% manteniéndolo inclinado en un ángulo de 45° .
3. El matraz Erlenmeyer fue retirado cuando recibió 125 ml de destilado (la coloración de la solución cambio de rojo a azul).

3.3.10.5. Titulación

1. En una bureta de 50 ml se colocó HCl 0.1 N.

2. Posteriormente el ácido se agregó lentamente al matraz Erlenmeyer con la solución del destilado (manteniendo un movimiento giratorio) hasta que la solución cambió a un rojo ámbar.

Para calcular el porcentaje de Nitrógeno total se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de N total} = \frac{\text{Ml HCl 0.01 N gastados} * 0.00014 * 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

3.3.10.6. Análisis de fósforo (P)

La determinación de P se realizó mediante la metodología de amarillo vanadato molibdato.

Del extracto resultante de la digestión de la muestra:

1. Se agregó 1 ml de cada muestra a un matraz de aforación de 25 ml (factor de dilución de 25).
 - En esta metodología debe de considerarse la coloración que se muestre, ya que debe de estar dentro de la coloración de la curva de calibración.
2. En el caso de las muestras se utilizó 0.1 ml de muestra, seguidamente se colocó en un matraz de aforación de 25 ml (factor de dilución de 250).
3. Posteriormente se agregaron 5 ml de reactivo Amarillo Vanadato.
4. El matraz se aforó a 25 ml con agua bidestilada.
5. A continuación se dejó reposar por 15 minutos.

6. Después se colocó la muestra en una celdilla para Espectrofotómetro UV (S-2150).
7. Se insertó en el espectrofotómetro y se efectuó la lectura de Absorbancia a 470 nm.

La curva de calibración de P se preparó con 0, 0.4, 0.8 y 1.2 ppm de P, siguiendo el procedimiento anterior (Excluyendo el punto 2).

3.3.10.7. Análisis de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg)

La determinación de K, Ca y Mg se realizó utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Union Thermo, utilizando los extractos de la digestión de las muestras.

La técnica de absorción atómica tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. La muestra (extracto) en forma líquida es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador donde ésta se desintegra y forma un rocío o pequeñas gotas de líquido. Las gotas formadas son conducidas a una flama, donde los átomos absorben la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración.

Para determinar los elementos K y Ca se utilizó un factor de dilución de (1:200) y para el elemento Mg un factor de dilución (1:500).

3.4. Experimento 2

El segundo experimento se realizó en el período de enero a julio 2020. El experimento se llevó a cabo en el mismo invernadero que se utilizó para el Experimento 1, por lo que el agua utilizada fue la misma para ambos experimentos. Los tratamientos, el croquis y el diseño experimental fueron los mismos que se utilizaron en el Experimento 1.

3.4.1. Material vegetal

Para la siembra en charolas se seleccionaron 800 semillas de moringa de la variedad “Vaina Larga”, considerando que las semillas tuvieran las mismas características que se tomaron en cuenta en el Experimento 1 (uniformidad, tamaño y un color café oscuro).

3.4.2. Producción de plántulas

Para la producción de plántulas de moringa se realizó el mismo procedimiento que el utilizado en el Experimento 1, con algunas modificaciones; esta actividad fue llevada a cabo el 4 de abril del 2020.

3.4.3. Establecimiento del cultivo

La emergencia de las plántulas comenzó a partir del 14 de abril del 2020, por lo que fue necesario colocar las charolas de propagación en un invernadero para su posterior crecimiento y desarrollo; la humedad del sustrato se revisó diariamente para determinar los riegos. Al igual que en el Experimento 1 se aplicó TRIPLE 18 cuando aparecieron las primeras hojas verdaderas en una dosis de 1 g por L de agua.

3.4.4. Preparación del suelo

Para la preparación del suelo, primeramente, se realizó una limpieza general de la cama la cual consistió en retirar los tallos existentes del Experimento 1, así como retirar cintilla, rafia y pinzas.

Posteriormente el suelo se preparó con dos pasos de labranza con un roto cultivador marca Husqvarna® a una profundidad de 0.30 m, trabajando primeramente los tratamientos sin vermicompost y después se realizó el mismo procedimiento para los tratamientos con vermicompost, con la finalidad de evitar la contaminación. Posteriormente se realizó la elaboración de la cama (46 m de largo y 0.80 m de ancho).

La vermicompost fue incorporada en suelo seco con una dosis de 10 t ha^{-1} , a una profundidad de 15 cm. Posteriormente se realizó la colocación del sistema de riego por goteo y se identificaron los tratamientos.

3.4.5. Análisis físico - químico del suelo

El procedimiento para la realización de toma de muestras y el lugar donde se determinaron los análisis fue el mismo del Experimento 1. Cabe mencionar que para el Experimento 2 se analizaron dos muestras, se analizó el suelo de los tratamientos a los cuales no se les aplicó vermicompost y el suelo de los tratamientos a los que se les incorporó una dosis de 10 t ha^{-1} de vermicompost.

3.4.6. Trasplante

El trasplante se llevó a cabo el 27 de abril del 2020, el procedimiento de trasplante fue el mismo que en el Experimento 1. Durante el periodo de desarrollo del cultivo se realizó un control de plagas y malezas. La aplicación de los tratamientos se realizó con la técnica del Experimento 1.

3.4.7. Cosecha

El corte se realizó en los días 13, 14 y 15 de julio del 2020 (72 días después del trasplante), cuando las plantas alcanzaron una altura promedio de 1.8 m; el corte se realizó a una altura de 20 cm sobre el nivel del suelo utilizando tijeras de poda. Posteriormente se separaron los folíolos del raquis de las hojas y se colocaron en bolsas de papel para la cuantificación de materia fresca, los raquis de las hojas fueron incorporados con los tallos y diseccionados en segmentos de 25 cm y se colocaron en bolsas de papel para la cuantificación de materia fresca de tallo.

3.4.8. Variables evaluadas

3.4.8.1. Variables de crecimiento

En el Experimento 2 no fue evaluado el crecimiento de la planta, debido a que en el Experimento 1 no se observaron diferencias significativas para las variables: altura de planta y número de hojas.

3.4.9. Biomasa seca

Para la determinación de esta variable se colocaron los folíolos y tallos en un deshidratador solar ubicado en el Centro de Agricultura Protegida, las muestras estuvieron expuestas durante un periodo de 8 días, con monitoreo diario para

verificar el secado, posteriormente se colocaron las muestras en bolsas de papel para registrar el peso seco. Los tallos fueron desechados y las muestras de hoja fueron molidas y tamizadas con una malla del número 30, con una apertura de 600 μm .

3.4.10. Análisis de nutrimentos en tejido vegetal.

El procedimiento para la digestión de la muestra y la determinación del contenido de nitrógeno en el tejido vegetal de moringa fue el mismo que se utilizó en el Experimento 1. La cuantificación de potasio, calcio y magnesio se llevó a cabo con el mismo procedimiento y diluciones del Experimento 1.

3.4.11. Análisis de fósforo (P)

Para la determinación de P se realizó la misma metodología utilizada en el Experimento 1, con algunas modificaciones en el factor de dilución de las muestras.

3.5. Análisis Estadístico

Los análisis estadísticos de los datos obtenidos en ambos experimentos se realizaron con el software SPSS Statistics, Versión 21. La comparación de los tratamientos se realizó con un análisis de varianza factorial con el modelo del diseño completamente al azar. La comparación múltiple de medias fue realizada mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los datos expresados en porcentaje fueron transformados utilizando la transformación del arcoseno.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento 1

4.1.1. Análisis físico – químico del suelo

De acuerdo con los resultados, el suelo se clasifica como arcilloso, con posible presencia de carbonatos y bicarbonatos, moderadamente alcalino, con alta salinidad y con niveles óptimos de MO, N, P y K. Los resultados se muestran en el (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis físico - químico del suelo “Experimento 1”.

PARÁMETRO	DATOS	UNIDAD DE MEDIDA
pH	7.9	-----
CE	5.21	μS/cm
Textura	Arcilloso	%
MO	2.48	%
N	0.21	%
P	72.9	ppm
K	0.41	meq/100 gr
Ca	14.85	meq/100 gr

4.1.2. Variables evaluadas

Los análisis de varianza mostraron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos para altura de planta, número de hojas y unidades SPAD. Sin embargo, las variables de peso fresco y seco de tallo y hoja resultaron con diferencias significativas entre los tratamientos de Si. Para estas variables los análisis de varianza no encontraron diferencias entre los niveles de vermicompost y la interacción entre los dos factores. Así mismo se encontraron diferencias significativas para el número de brotes en el factor Si y en vermicompost, sin embargo, no hubo diferencia significativa en la interacción de los factores (Cuadro 4).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Villalón-Mendoza *et al.* (2018), quienes encontraron que aplicaciones de dióxido de silicio y lombricomposta en plantas de chile piquín tuvieron un efecto positivo en el crecimiento y calidad de la planta, sin embargo, no se observó diferencia significativa para la altura final de la planta.

Cuadro 4. Análisis de varianza (ANVA) para variables de crecimiento y biomasa “Experimento 1”.

Variables	Si	Vermicompost	S x V
Altura	NS	NS	NS
Número de Hojas	NS	NS	NS
SPAD	NS	NS	NS
PF de hojas	**	NS	NS
PF de tallos	**	NS	NS
PS de hojas	**	NS	NS
PS de tallos	**	NS	NS
Brotes	**	**	NS

** Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$); NS: Diferencia no significativa.

4.1.3. Peso fresco de hojas y tallos

Las comparaciones múltiples de medias para peso fresco de hojas y tallos mostraron que no hubo diferencia significativa en el tratamiento testigo y en la aplicación foliar de 50 ppm de Si, sin embargo, hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la aplicación de 50 ppm de Si al suelo (Cuadro 5 y 6), obteniendo los mayores rendimientos de biomasa fresca en hojas y tallos (Figuras 8 y 9).

El Si se ha aplicado en forma foliar para incrementar la vida de anaquel de algunas frutas debido a que se acumula en la cutícula de las hojas y en la pared de las células, sin embargo, no es muy móvil en la planta, por lo que no tiene un efecto importante en el crecimiento comparado con las aplicaciones al suelo, en donde se absorbe en forma pasiva y se mueve por el xilema hacia las hojas y puntos de crecimiento de la planta (Al-Aghabary *et al.*, 2004; Marodin *et al.*, 2016).

Los resultados encontrados coinciden con lo observado en plantas de café por Caicedo y Chavarriaga (2007), quienes encontraron un aumento en el rendimiento de biomasa con la aplicación de Si.

El efecto del Si sobre una mayor producción de biomasa se puede explicar debido a que este elemento promueve un incremento en la clorofila en el tejido vegetal, además hay evidencias de que incrementa la intercepción de la radiación solar (Epstein, 2009); también disminuye la pérdida de agua por transpiración e incrementa la eficiencia fotosintética (Marafon y Endres, 2013).

Cuadro 5. Análisis de varianza (ANVA) para el peso fresco de hojas “Experimento 1”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Vermi	18260.167	1	18260.167	0.508	0.485
Si	528870.333	2	264435.167	7.350	0.005
Vermi * Si	15560.333	2	7780.167	0.216	0.808
Error	647633.000	18	35979.611		
Total	1210323.83	23			

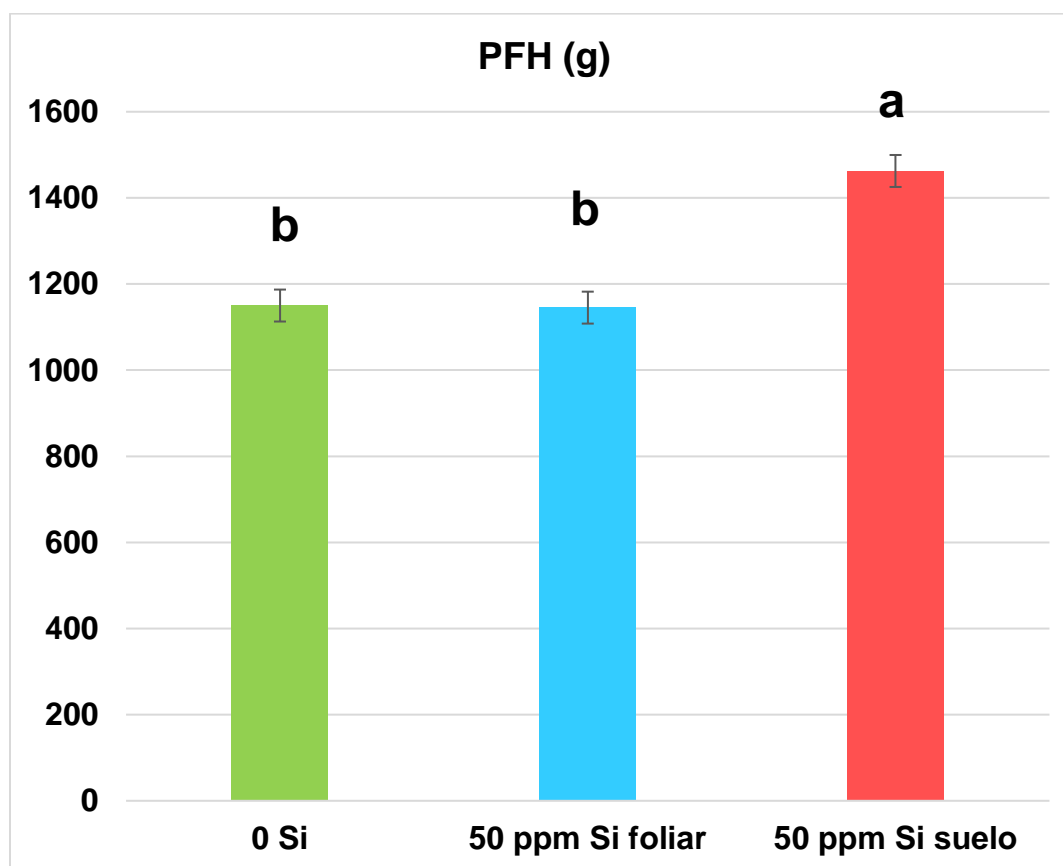


Figura 8. Efecto del Si en el peso fresco de hojas (g). Cada barra muestra la media \pm Error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Cuadro 6. Análisis de varianza (ANVA) para el peso fresco de tallos “Experimento 1”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Vermi	4.167	1	4.167	0.000	0.994
Si	1394233.333	2	697116.667	10.252	0.001
Vermi* Si	46233.333	2	23116.667	0.340	0.716
Error	1224025.000	18	68001.389		
Total	2664495.83	23			

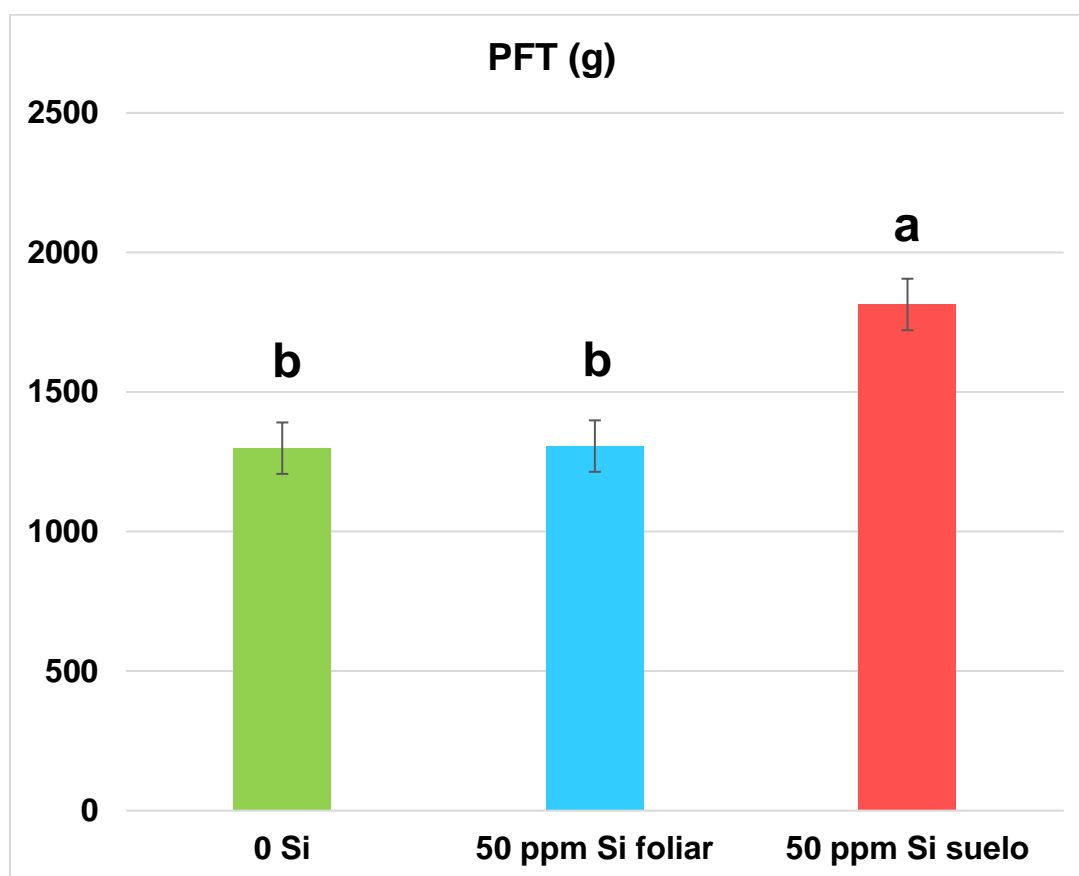


Figura 9. Efecto del Si en el peso fresco de tallos (g). Cada barra muestra la media \pm Error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.1.4. Peso seco de hojas y tallos

Las comparaciones múltiples de medias para peso seco de hojas y tallos mostraron que la aplicación de 50 ppm de Si al suelo incrementó significativamente la producción de biomasa seca en hojas y tallos (Cuadro 7 y 8), comparado con el tratamiento testigo y aplicación foliar de 50 ppm de Si (Figura 10 y 11).

Los resultados obtenidos del peso fresco y seco de hojas y tallos de la presente investigación coinciden con los reportados por Carballo-Méndez (2019), quien estudió la aplicación de Si en moringa encontrando que la aplicación de Si incrementó la biomasa en un 46% comparado con el tratamiento control. Estos resultados concuerdan con la idea de que el Si es un elemento benéfico para el crecimiento de las plantas, aunque no se considere como elemento esencial.

Cuadro 7. Análisis de varianza (ANVA) para el peso seco de hojas “Experimento 1”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Vermi	816.667	1	816.667	1.039	0.322
Si	13333.333	2	6666.667	8.481	0.003
Vermi * Si	233.333	2	116.667	0.148	0.863
Error	14150.000	18	786.111		
Total	28533.333	23			

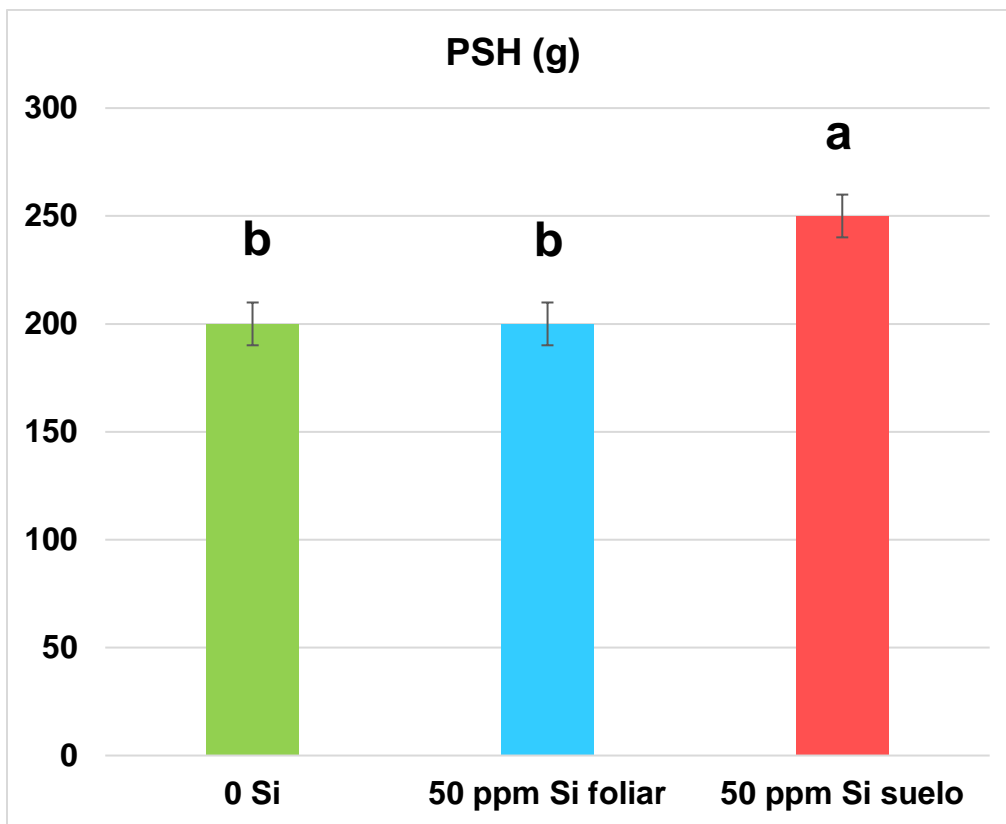


Figura 10. Efecto del Si en el peso seco de hojas (g). Cada barra muestra la media \pm Error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Cuadro 8. Análisis de varianza (ANVA) para el peso seco de tallos “Experimento 1”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Vermi	7125.397	1	7125.397	3.613	0.077
Si	48788.095	2	24394.048	12.369	0.001
Vermi * Si	5.556	2	2.778	0.001	0.999
Error	29583.333	15	1972.222		
Total	81580.952	20			

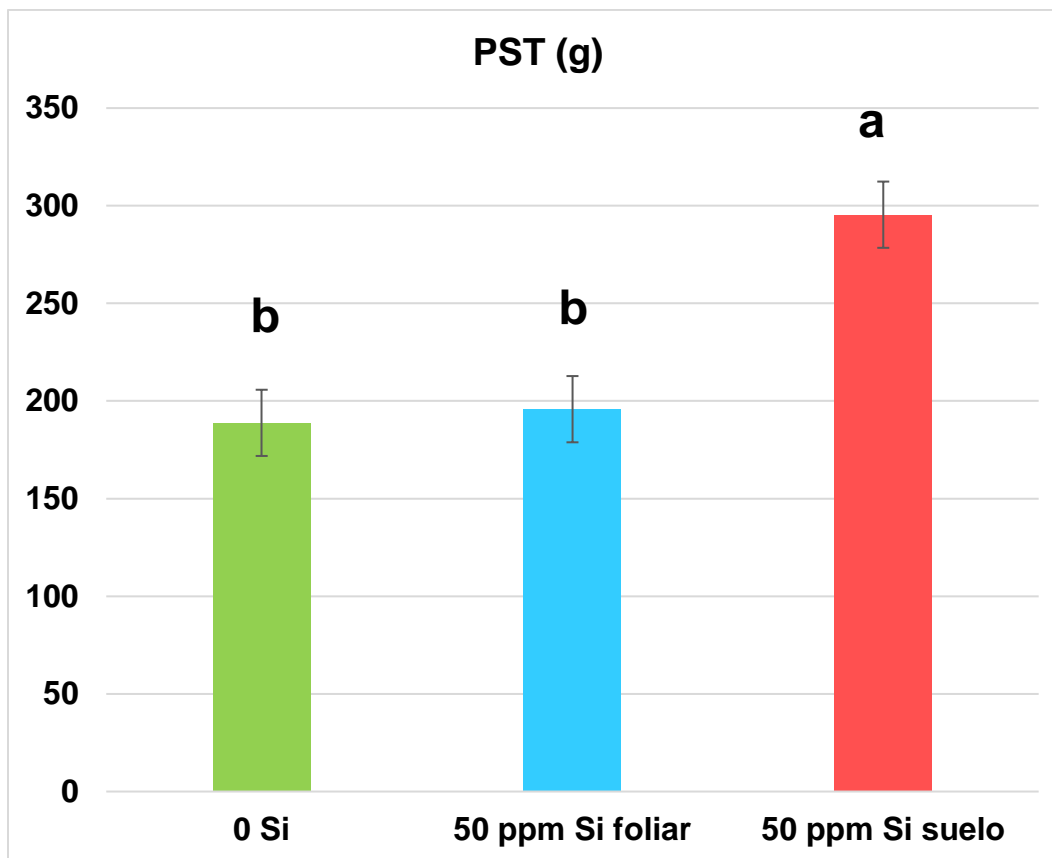


Figura 11. Efecto del Si en el peso seco de tallos (g). Cada barra muestra la media \pm Error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.1.5. Número de brotes

Las plantas del Experimento 1 se cortaron el día 2 y 3 de septiembre a una altura de 20 cm del suelo al punto de corte. Las plantas podadas brotaron rápidamente y el día 17 de septiembre se contabilizó el número de brotes por planta. Para el análisis estadístico de esta variable se hizo una transformación raíz cuadrada, encontrando diferencia significativa entre los niveles de Si (Cuadro 9). La

comparación de medias del número de brotes mostró que el Si aplicado al suelo tuvo un mayor número de brotes, seguido del tratamiento de aplicación foliar de Si, superando al tratamiento testigo (sin aplicación de Si) (Cuadro 10). El análisis de varianza también mostró diferencias significativas en los tratamientos de aplicación de vermicompost, encontrando que la aplicación de 10 t ha⁻¹ superó al tratamiento testigo en cuanto a los brotes observados (Cuadro 11).

Los resultados anteriores son similares a lo reportado por Mejía-Castillo y López-Guifarro (2019) quienes encontraron que aplicaciones de Si en una dosis de 1.5 L ha⁻¹ en pasto incrementaron la cantidad de rebrotes y de plantas vivas comparado con el tratamiento control.

Cuadro 9. Análisis de varianza (ANVA) para el número de brotes “Experimento 1”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
REP	2.365	3	0.788	55.820	0.000
Si	2.377	2	1.189	84.180	0.000
Vermi	0.612	1	0.612	43.361	0.000
Si * Vermi	0.016	2	0.008	0.574	0.575
Error	0.212	15	0.014		
Total	5.582	23			

Cuadro 10. Comparación de medias del número de brotes para Si “Experimento 1”.

Si	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 Si	5.792 c	0.042	5.702	5.881
50 ppm Si foliar	6.167 b	0.042	6.077	6.256
50 ppm Si suelo	6.562 a	0.042	6.473	6.652

(a, b, c) Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Cuadro 11. Comparación de medias del número de brotes para vermicompost “Experimento 1”.

Vermi	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 t ha⁻¹	6.014 b	0.034	5.941	6.087
10 t ha⁻¹	6.333 a	0.034	6.260	6.406

(a, b) Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

4.1.6. Nitrógeno (N)

El análisis de varianza para la concentración foliar de nitrógeno no mostró efectos significativos para Si ni para la interacción de los factores (Si-vermicompost). Sin embargo, se observaron efectos significativos ($p \leq 0.05$) en el factor vermicompost (Cuadro 12), resultando con altos niveles de N los tratamientos a los que se le aplicó vermicompost (Cuadro 13).

En un estudio previo con moringa, realizado por Carballo-Méndez (2019), no encontró diferencias significativas en los tratamientos con Si en el primer corte, sin embargo, en el segundo corte reportó mayor concentración de N en el tratamiento en donde aplicó Si.

El vermicompost tiene una mayor concentración N, P y K, en comparación con el suelo, esto debido a la acción biológica de las lombrices, las cuales hace que los nutrientes se encuentren en mayor concentración y disponibilidad para la absorción por las plantas, incluidos los micronutrientes.

Cuadro 12. Análisis de varianza (ANVA) para la concentración foliar de N “Experimento 1”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Rep	1.792	3	0.597	14.817	0.000
Si	0.130	2	0.065	1.614	0.232
Vermi	0.275	1	0.275	6.821	0.020
Si * Vermi	0.005	2	0.003	0.068	0.935
Error	0.605	15	0.040		
Total	2.807	23			

Cuadro 13. Comparación de medias de concentración foliar de N para vermicompost “Experimento 1”.

Vermi	Media	Error Estándar	95% Intervalo de confianza	
			Límite inferior	Límite superior
0 t ha⁻¹	3.539 b	0.058	3.416	3.663
10 t ha⁻¹	3.753 a	0.058	3.630	3.877

(a, b) Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

4.1.7. Fósforo (P)

El análisis de varianza para la concentración foliar de fósforo no mostró efectos significativos para Si ni para el factor vermicompost (Cuadro 14). En cambio, se observaron efectos significativos entre la interacción entre los factores (Si – vermicompost).

Cuadro 14. Análisis de varianza (ANVA) para la concentración foliar de P “Experimento 1”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Rep	0.008	3	0.003	1.101	0.380
Si	0.000	2	0.000	0.102	0.904
Vermi	5.400E-005	1	5.400E-005	0.023	0.881
Si * Vermi	0.017	2	0.009	3.689	0.050
Error	0.035	15	0.002		
Total	0.060	23			

La comparación de medias mostró diferencias significativas para los niveles de Si, entre la aplicación de Si foliar y la aplicación de Si al suelo, mostrando mayor contenido de fósforo cuando se aplica Si al suelo dentro del primer nivel de vermicompost. Por otra parte, en el segundo nivel de vermicompost no hubo diferencia significativa para los niveles de Si (Cuadro 15).

En un estudio realizado por Zhang *et al.* (2019) reveló que la aplicación exógena de Si en plantas cultivadas bajo estrés mejoró considerablemente las concentraciones de los nutrimentos esenciales para las plantas (K, Na, Ca, Mg y Mn).

Cuadro 15. Comparación de medias de la concentración foliar de P de los niveles de Si dentro de los niveles de vermicompost “Experimento 1”.

	0 t ha⁻¹ Vermicompost	10 t ha⁻¹ Vermicompost
0 Si	0.356 ab	0.361 a
50 ppm de Si Foliar	0.325 b	0.392 a
50 ppm de Si al Suelo	0.400 a	0.336 a

(a, b, ab) Letras diferentes dentro del mismo nivel de vermicompost muestran diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

La comparación de medias no mostró diferencias significativas para los niveles de vermicompost dentro de cada nivel de Si (Cuadro 16).

Cuadro 16. Comparación de medias de la concentración foliar de P de los niveles de vermicompost dentro de los niveles de Si “Experimento 1”.

	0 t ha⁻¹ Vermicompost	10 t ha⁻¹ Vermicompost
0 Si	0.356 a	0.361 a
50 ppm de Si Foliar	0.325 a	0.392 a
50 ppm de Si al Suelo	0.400 a	0.336 a

(a) Letras iguales no muestran diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

4.1.8. Potasio (K)

El análisis de varianza no mostró diferencia significativa para Si, sin embargo, se observó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en vermicompost (Cuadro 17), encontrando una mayor concentración de K en los tratamientos con aplicación de vermicompost (Cuadro 18).

En un estudio realizado por Durán-Umaña y Henríquez-Henríquez (2010) reportaron que la aplicación de vermicompost en plantas de sorgo incrementó la concentración de P, Ca, Mg y K, encontrando un incremento de forma lineal en K a diferentes porcentajes de vermicompost.

Cuadro 17. Análisis de varianza (ANVA) para la concentración foliar de K “Experimento 1”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
REP	0.530	3	0.177	8.948	0.001
Si	0.030	2	0.015	0.757	0.486
Vermi	0.236	1	0.236	11.943	0.004
Si * Vermi	0.006	2	0.003	0.161	0.853
Error	0.296	15	0.020		
Total	1.099	23			

Cuadro 18. Comparación de medias de concentración foliar de K para vermicompost “Experimento 1”.

Vermi	Media	Error Estándar	95% Intervalo de confianza	
			Límite inferior	Límite superior
0 t ha ⁻¹	1.752 b	0.041	1.665	1.838
10 t h ⁻¹	1.950 a	0.041	1.864	2.036

(a, b) Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

4.1.9. Calcio (Ca)

El análisis de varianza no mostró efectos significativos para Si, vermicompost, ni para la interacción de los factores.

4.1.10. Magnesio (Mg)

Los resultados del análisis de varianza mostraron efectos significativos ($p \leq 0.05$) para el factor vermicompost (Cuadro 19), observándose una mayor concentración de este elemento en los tratamientos que no tuvieron aplicaciones de vermicompost, comparado con los que se les incorporó este abono orgánico (Cuadro 20). Lo anterior puede asociarse a la concentración de Mg de los resultados de análisis de suelo, en los que se encontró una mayor concentración de Mg en el análisis sin vermicompost, comparado con los resultados de suelo + vermicompost.

Cuadro 19. Análisis de varianza (ANVA) para la concentración foliar de Mg “Experimento 1”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
REP	0.134	3	0.045	3.891	0.031
Si	0.004	2	0.002	0.186	0.832
Vermi	0.086	1	0.086	7.546	0.015
Si * Vermi	0.024	2	0.012	1.036	0.379
Error	0.172	15	0.011		
Total	0.420	23			

Cuadro 20. Comparación de medias de concentración foliar de Mg para vermicompost “Experimento 1”.

Vermi	Media	Error Estándar	95% Intervalo de confianza	
			Límite inferior	Límite superior
0 t ha ⁻¹	1.149 a	0.031	1.083	1.215
10 t h ⁻¹	1.029 b	0.031	0.963	1.095

(a, b) Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

4.2. Experimento 2

4.2.1. Análisis físico – químico del suelo

De acuerdo con los resultados, el suelo de ambos análisis se clasifica como arcilloso, con presencia de carbonatos y bicarbonatos, clasificados moderadamente alcalinos, con salinidad moderada.

Los resultados del análisis de suelo con vermicompost mostraron un ligero aumento en la concentración de MO y P. Los resultados se muestran en el (Cuadro 21).

Cuadro 21. Análisis físico - químico del suelo “Experimento 2”.

PARÁMETRO	SUELO	SUELO CON VERMICOMPOST	UNIDAD DE MEDIDA
	DATOS	DATOS	
pH	8.2	8.3	-----
CE	4.26	3.03	μS/cm
Textura	Arcilloso	Arcilloso	%
MO	2.563	2.95	%
N	0.17	0.17	%
P	68.18	73.20	ppm
K	0.35	0.36	meq/100 gr
Ca	15.33	14.81	meq/100 gr
Mg	6.23	6.09	meq/100 gr

4.2.2. Variables evaluadas

Los análisis de varianza mostraron que hubo diferencia significativa para las variables de peso fresco y seco de hojas y tallos entre los tratamientos de Si y los dos niveles de vermicompost. Sin embargo, no se encontró diferencia significativa en la interacción de los factores (Cuadro 22).

Cuadro 22. Análisis de varianza (ANVA) para variables de biomasa “Experimento 2”.

Variables	Si	Vermicompost	S x V
PF de hojas	**	**	NS
PS de hojas	**	**	NS
PF de tallos	**	**	NS
PS de tallos	**	**	NS

**Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$); NS: Diferencia no significativa.

4.2.3. Peso fresco de hojas y tallos

En el análisis estadístico del peso fresco de hojas y tallos se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los niveles de Si (Cuadro 23 y 24), la comparación de medias mostró que la aplicación de 50 ppm de Si aplicado al suelo obtuvo mayor producción de biomasa fresca a comparación con el tratamiento testigo (Cuadros 25 y 26). Los resultados concuerdan con lo encontrado en el Experimento 1, en donde se encontró que los tratamientos con aplicación de Si al suelo obtuvieron una mayor producción de biomasa comparado con el tratamiento control.

En un estudio realizado por Ji *et al.* (2017), descubrieron que el Si aumenta la producción de biomasa y reduce la contaminación de metales pesados como el cadmio (Cd) en plantas de arroz.

Cuadro 23. Análisis de varianza (ANVA) para peso fresco de hojas “Experimento 2”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
REP	0.246	3	0.082	2.447	0.104
Si	0.579	2	0.290	8.646	0.003
Vermi	0.549	1	0.549	16.394	0.001
Si * Vermi	0.092	2	0.046	1.372	0.284
Error	0.502	15	0.033		
Total	1.968	23			

Cuadro 24. Análisis de varianza (ANVA) para peso fresco de tallos “Experimento 2”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
REP	21.377	3	7.126	23.470	0.000
Si	4.784	2	2.392	7.879	0.005
Vermi	6.040	1	6.040	19.894	0.000
Si * Vermi	0.834	2	0.417	1.374	0.283
Error	4.554	15	0.304		
Total	37.590	23			

Cuadro 25. Comparación de medias de peso fresco de hojas para Si “Experimento 2”.

Si	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 Si	1.249 c	0.065	1.111	1.387
50 ppm de Si foliar	1.479 b	0.065	1.341	1.617
50 ppm de Si al suelo	1.626 a	0.065	1.488	1.764

(a, b, c) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 26. Comparación de medias de peso fresco de tallos para Si “Experimento 2”.

Si	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 Si	3.040 c	0.195	2.625	3.455
50 ppm de Si foliar	3.630 b	0.195	3.215	4.045
50 ppm de Si al suelo	4.133 a	0.195	3.717	4.548

(a, b, c) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

El análisis de varianza también mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos de vermicompost (Cuadros 23 y 24), encontrando que la aplicación de 10 t ha⁻¹ superó al tratamiento testigo en producción de biomasa fresca en hojas y tallos (Cuadros 27 y 28).

Cuadro 27. Comparación de medias de peso fresco de hojas para vermicompost “Experimento 2”.

Vermi	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 t ha ⁻¹	1.300 b	0.053	1.187	1.413
10 t ha ⁻¹	1.603 a	0.053	1.490	1.715

(a, b) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 28. Comparación de medias de peso fresco de tallos para vermicompost “Experimento 2”.

Vermi	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 t ha ⁻¹	3.099 b	0.159	2.760	3.438
10 t ha ⁻¹	4.103 a	0.159	3.763	4.442

(a, b) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

4.2.4. Peso seco de hojas y tallos

El análisis estadístico encontró diferencia significativa en peso seco de hojas y tallos para el factor Si (Cuadros 29 y 30), mostrando una mayor producción de biomasa seca en los tratamientos en los que se aplicó Si al suelo en una dosis de 50 ppm en comparación con el tratamiento en el cual no se realizó aplicación de Si (Cuadros 31 y 32).

Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Llarely *et al.* (2019) quienes reportan que aplicaciones de Si en una dosis de 50 mg L⁻¹ tuvieron efectos positivos en provocar una mayor acumulación de materia seca de la raíz, hojas y tallos en plantas de tomate.

Cuadro 29. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de hojas “Experimento 2”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
REP	0.178	3	0.059	15.334	0.000
Si	0.049	2	0.024	6.292	0.010
Vermi	0.051	1	0.051	13.219	0.002
Si * Vermi	0.005	2	0.002	0.616	0.553
Error	0.058	15	0.004		
Total	0.341	23			

Cuadro 30. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de tallos “Experimento 2”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
REP	1.046	3	0.349	25.744	0.000
Si	0.151	2	0.075	5.571	0.016
Vermi	0.172	1	0.172	12.689	0.003
Si * Vermi	0.030	2	0.015	1.122	0.351
Error	0.203	15	0.014		
Total	1.602	23			

Cuadro 31. Comparación de medias de peso seco de hojas para Si “Experimento 2”.

Si	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 Si	0.292 c	0.022	0.245	0.339
50 ppm de Si foliar	0.341 b	0.022	0.294	0.388
50 ppm de Si al suelo	0.402 a	0.022	0.355	0.449

(a, b, c) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 32. Comparación de medias de peso seco de tallos para Si “Experimento 2”.

Si	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 Si	0.538 c	0.041	0.450	0.625
50 ppm de Si foliar	0.643 b	0.041	0.555	0.731
50 ppm de Si al suelo	0.732 a	0.041	0.644	0.819

(a, b, c) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

En los Cuadros 33 y 34 se puede observar que se encontró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los dos niveles de vermicompost, teniendo una menor producción de biomasa seca en donde no se aplicó vermicompost al suelo, en comparación con los tratamientos donde se aplicó una dosis de 10 t ha^{-1} de vermicompost.

Cuadro 33. Comparación de medias de peso seco de hojas para vermicompost “Experimento 2”.

Vermi	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 t ha⁻¹	0.299 b	0.018	0.261	0.337
10 t ha⁻¹	0.391 a	0.018	0.353	0.430

(a, b) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 34. Comparación de medias de peso seco de tallos para vermicompost “Experimento 2”.

Vermi	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 t ha⁻¹	0.553 b	0.034	0.481	0.624
10 t ha⁻¹	0.722 a	0.034	0.650	0.794

(a, b) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

4.2.5. Nitrógeno (N)

El análisis de varianza para la concentración foliar de nitrógeno mostró efectos significativos para Si y vermicompost (Cuadro 35).

La comparación de medias para el factor Si mostró diferencias significativas entre los niveles estudiados. La aplicación de Si al suelo resultó con mayores niveles de N en el tejido foliar, seguida de la aplicación foliar y superando al tratamiento en donde no se aplicó Si (Cuadro 36).

Así mismo la comparación de medias en el factor vermicompost también mostró diferencias significativas en las dosis estudiadas, resultando con mayor concentración de N en los tratamientos con vermicompost (Cuadro 37).

En un estudio realizado en plantas de rosa, realizado por Corredor (2020), encontró una mayor concentración de N con aplicaciones de Si en sustrato más aplicaciones foliares, comparado con el tratamiento testigo.

Cuadro 35. Análisis de varianza (ANVA) de la concentración foliar de N “Experimento 2”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
REP	0.939	3	0.313	88.319	0.000
Si	0.218	2	0.109	30.691	0.000
Vermi	0.057	1	0.057	16.068	0.001
Si * Vermi	0.001	2	0.001	0.156	0.857
Error	0.053	15	0.004		
Total	1.268	23			

Cuadro 36. Comparación de medias de concentración foliar de N para Si “Experimento 2”.

Si	Media	Error Estándar	95% Intervalo de confianza	
			Límite inferior	Límite superior
0 Si	4.379 b	0.021	4.335	4.424
50 ppm de Si foliar	4.517 a	0.021	4.472	4.562
50 ppm de Si al suelo	4.611 a	0.021	4.566	4.656

(a, b) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 37. Comparación de medias de concentración foliar de N para vermicompost “Experimento 2”.

Vermi	Media	Error Estándar	95% Intervalo de confianza	
			Límite inferior	Límite superior
0 t ha⁻¹	4.454 b	0.017	4.417	4.490
10 t ha⁻¹	4.551 a	0.017	4.515	4.588

(a, b) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

4.2.6. Fósforo (P)

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas en Si, vermicompost ni en la interacción de los factores.

4.2.7. Potasio (K)

El análisis de varianza mostró efectos significativos ($p \leq 0.05$) en el factor vermicompost (Cuadro 38, observándose una concentración mayor de K en los tratamientos con aplicaciones de vermicompost (Cuadro 39).

Cuadro 38. Análisis de varianza (ANVA) de la concentración foliar de K “Experimento 2”.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
REP	0.192	3	0.064	11.557	0.000
Si	0.012	2	0.006	1.061	0.371
Vermi	0.029	1	0.029	5.322	0.036
Si * Vermi	0.004	2	0.002	0.387	0.686
Error	0.083	15	0.006		
Total	0.320	23			

Cuadro 39. Comparación de medias de concentración foliar de K para vermicompost “Experimento 2”.

Vermi	Media	Error Estándar	95% Intervalo de confianza	
			Límite inferior	Límite superior
0 t ha ⁻¹	1.455 b	0.021	1.409	1.501
10 t ha ⁻¹	1.525 a	0.021	1.479	1.571

(a, b) Letras diferentes muestran diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$).

4.2.8. Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)

Los resultados de los análisis de varianza para calcio y magnesio no mostraron diferencias significativas para los factores Si y vermicompost.

5. CONCLUSIONES

- La aplicación de 50 ppm de Si al suelo incrementó la producción de biomasa fresca y seca de hojas y tallos en los Experimentos 1 y 2. Además de que aumentó la concentración de N en el tejido vegetal de moringa en el Experimento 2.
- La aplicación de 10 t ha⁻¹ de vermicompost incrementó la producción de biomasa fresca y seca en tallos y hojas en el Experimento 2, e incrementó la concentración de N y K, sin embargo, se encontraron concentraciones menores de Mg, lo anterior sugiere que el vermicompost incrementa la concentración de algunos nutrimentos en el tejido vegetal, pero la concentración iónica en la solución del suelo podría afectar la absorción de Mg.

6. BIBLIOGRAFÍA

Al-Aghabary, K; Zhu, Z; Shi, QH. (2004). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 2101-2115.

Amaglo, N. K., Bennett, R. N., Curto, R. B. L., Rosa, E. A., Turco, V. L., Giuffrida, A., Curto, A. L., Crea, F., and Timpo, G. M. (2010). Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L., grown in Ghana. *Food Chemistry*, 122(4), 1047-1054.

Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource technology*, 93(2), 145-153.

Asensi, G. D., Villadiego, A. M. D., y Gaspar, R. B. (2017). *Moringa oleifera*: Revisión sobre aplicaciones y usos en alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(2), 86-97.

Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., and Shuster, W. (2000). *Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil*. 590, 579–590.

Bocarando-Guzmán, M. D., Ríos-Corripio, M. A., Hernández-Cázares, A. S., Gómez-Merino, F. C., and Servín-Juárez, R. (2019). Characterization of the

supply of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) in Mexico Caracterización de la oferta de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en México.

Boukandoul, S., Casal, S., and Zaidi, F. (2018). The potential of some moringa species for seed oil production. *Agriculture*, 8(10), 150.

Caicedo, L. M., y Chavarriaga, M. W. (2007). Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía (Manizales)*, 15(1), 27–37.

Carballo-Méndez, F. (2019). *Influencia del silicio en plantas sometidas a estrés salino* (Tesis de Doctorado). Facultad de Agronomía, UANL, General Escobedo, N.L.

Meza, Z. C., Sáenz, E. O., Ornelas, E. G., Barragán, H. B., Ruiz, J. A., Alvarado, R. E. V., y de la Rosa, R. C. (2016). Crecimiento y producción de biomasa de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) bajo las condiciones climáticas del Noreste de México. *Tecnociencia Chihuahua*, 10(3).

Castellanos G. L., de Mello P. R., y Silva Campos, C. N. (2015). El Silicio en la resistencia de los cultivos. *Cultivos Tropicales*, 36, 16-24.

Chaoui, H. I., Zibilske, L. M., and Ohno, T. (2003). Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(2), 295-302.

Corredor D., D. S. (2020). Efecto De Los Métodos De Aplicación De Silicio Sobre La Concentración De Nutrientes En Rosa Sp (Doctoral dissertation). pp 25-26.

Durán-Umaña, L., y Henríquez-Henríquez, C. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agronomía*

mesoamericana, 21(1), 85-93.

Echavarria, A., Regnault, H. D. A., Lisbeth, N., Matute, L., Jaramillo, C., de Astudillo, L. R., y Benitez, R. (2016). Evaluación de la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios de extractos de dieciséis plantas medicinales/Evaluation of antioxidant capacity and secondary metabolites of sixteen medicinal plants extracts. *Ciencia Unemi*, 9(20), 29-35. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp29-35p>.

Epstein, E. (2009). Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology*. 155:155-160. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x>

Estrada-Hernández, O., Hernández-Rodríguez, O. A., y Guerrero-Prieto, V. M. (2016). Múltiples formas de aprovechar los beneficios de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). *TECNOCENCIA Chihuahua*, 10(2).

Fahey, J. W. (2005). *Moringa oleifera*: a review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1. *Trees for life Journal*, 1(5), 1-15.

Falasca, S., y Bernabé, M. A. (2008). Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de *Moringa oleifera* en Argentina. *Revista Virtual de REDESMA*. p. 1. Recuperado de: <http://revistavirtual.redesma.org/vol3/pdf/investigacion/Moringa.pdf>.

Falowo, A. B., Mukumbo, F. E., Idamokoro, E. M., Lorenzo, J. M., Afolayan, A. J., and Muchenje, V. (2018). Multi-functional application of *Moringa oleifera* Lam. in nutrition and animal food products: A review. *Food research international*, 106, 317-334.

Garavito, U. (2008). *Moringa oleifera*, alimento ecológico para ganado vacuno,

porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. Recuperado *el*, 2008, vol. 18.

Gonzalez-Carrion, C. S., y Prieto Muñoz, K. T. (2020). Diseño de una bebida instantánea a base de ananas comosus, *moringa oleifera* lam e hibiscus sabdariffa lam (Bachelor's thesis, Machala: Universidad Técnica de Machala).

González, L. C., de Mello Prado, R., y Campos, C. N. S. (2015). El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 36, 16-24.

Goyal, B. R., B. B. Agrawal, R. K. Goyal, and A. A. Mehta. (2007). Phyto-pharmacology of *Moringa oleifera* Lam. An overview. *Natural Product Radiance*. 6(4):347-353.

Guillén-Román, C. J., Guevara-González, R. G., Rocha-Guzmán, N. E., Mercado-Luna, A., and Perez-Perez, M. C. I. (2018). Effect of nitrogen privation on the phenolics contents, antioxidant and antibacterial activities in *Moringa oleifera* leaves. *Industrial Crops and Products*, 114, 45-51.

Guzmán-Maldonado, S. H., y Díaz-Fuentes, V. H. (2017). Diversidad en la composición fenólica y capacidad antioxidante de colectas de moringa del estado de Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), 1641-1645.

Higuita, F. E. R. (2015). Importancia agronómica del silicio y su impacto en la productividad de la caña de azucar. *Suelos Ecuatoriales*, 45(1), 10-15.

INEGI. (2018). Mapa Digital de México V6.3.0

Ji, X., Liu, S., Juan, H., Bocharnikova, E. A., and Matichenkov, V. V. (2017). Effect of silicon fertilizers on cadmium in rice (*Oryza sativa*) tissue at tillering stage.

Environmental Science and Pollution Research, 24(11), 10740-10748.

Kou, X., Li, B., Olayanju, J. B., Drake, J. M., and Chen, N. (2018). Nutraceutical or pharmacological potential of *Moringa oleifera* Lam. *Nutrients*, 10(3), 343.

Llarelly, C. F. L., De Jesús, V. A. T., Leopoldo, P. R., Felipe, A. T., Tomás, D. V., Carlos, L. O., Teresita, O. V. D., y Delia, Z. T. N. (2019). Efecto De Silicio En El Crecimiento De Plántulas Y Rendimiento De Plantas De Tomate F3. *Compendio Científico en Ciencias Agrícolas y Biotecnología*, 41.

Ledea-Rodríguez, J. L., Alonso, G. R., Benítez-Jiménez, D. G., Crucito-Arias, R., Ray-Ramírez, J. V., Nuviola-Pérez, Y., y Reyes-Pérez, J. J. (2018a). Rendimiento forrajero y sus componentes según la frecuencia de corte de *moringa oleifera*, variedad criolla. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 425-431.

Ledea-Rodríguez, J. L., Rosell-Alonso, G., Benítez-Jiménez, D. G., Arias-Pérez, R. C., Ray-Ramírez, J. V., y Reyes-Pérez, J. J. (2018b). Producción de semillas de variedades de *moringa oleifera* lam en el valle del cauto. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 415-423.

Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., and Bertoli, S. (2015). Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: An overview. *International journal of molecular sciences*, 16(6), 12791-12835.

Ma, J. F., Tamai, K., Yamaji, N., Mitani, N., Konishi, S., and Katsuhara, M. (2014). *LETTERS A silicon transporter in rice*. (April 2006). <https://doi.org/10.1038/nature04590>.

Magaji, U. F., Sacan, O., and Yanardag, R. (2020). Alpha amylase, alpha glucosidase and glycation inhibitory activity of *Moringa oleifera* extracts. *South*

African Journal Of Botany, 128, 225-230.

Mahmood, K. T., Mugal, T., and Haq, I. U. (2010). *Moringa oleifera*: a natural gift-A review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(11), 775.

Marafon, A. C., and L. Endres. (2013). Silicon: fertilization and nutrition in higher plants. *Rev. Cienc. Agrar.* 568(4):380-388.

Marodin, J. C.; J. Resende; R. Morales; M. V. Faria; A. R. Trevisam; A. Figueiredo; D. M Dias. (2016). Tomato post-harvest durability and physicochemical quality depending on silicon sources and doses. *Hortic. bras.* 34(3):361-366.

Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E., y Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. *Pastos y forrajes*, 36(2), 137-149.

Martínez, J. J., Herrera, A. C., y Román, L. R. (2011). VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES DE *Moringa oleífera* EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR. *Revista de Ciencias*, 15.

Mathur, B. (2005). Trees for life. Recuperado el 10 de octubre de 2019, de Trees for life:

[http://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/Moringa_Book_Sp\(screen\).pdf](http://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/Moringa_Book_Sp(screen).pdf).

Matichenkov, V. V., Bocharnikova, E. A., Kosobryukhov, A. A., and Biel, K. Y. (2008). Mobile forms of silicon in plants. In *Doklady Biological Sciences* (Vol. 418, No. 1, pp. 39-40). MAIK Nauka/Interperiodica.

Mejia-Castillo, H. J., y López-Guifarro, F. E. (2019). Utilización del silicio como promotor de crecimiento del pasto King Grass texas-25 para la generación de

bioenergía. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 5(9), 1144-1156.

Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Mercado-Martínez, I., Olivero-Verbel, R., y Jurado-Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleífera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104.

Mitjans, D. G., Bravo, V. P., y de Cárdenas, B. Z. (2016). Caracterización de aceites de las semillas de *Moringa oleífera* a partir de la extracción por diferentes métodos. *Revista colombiana de Biotecnología*, 18(2), 106-111.

Mogollón, J. P., Tremont, O., y Rodríguez, N. (2011). Efecto del uso de un vermicompost sobre las propiedades biológicas y químicas de suelos degradados por sales. *Venesuelos*, 9(1 y 2), 48-57.

Mora, J. S., y Gacharná, N. (2015). El árbol milagroso: la *moringa oleífera*. *Biodiversidad Colombia*, 1(5), 45-58.

Olson, M. E., y Alvarado-Cárdenas, L. O. (2016). ¿ Dónde cultivar el árbol milagro, *Moringa oleífera*, en México? Un análisis de su distribución potencial. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(3), 1089-1102.

Olson, M. E., y Fahey, J. W. (2011). *Moringa oleífera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4), 1071-1082.

Osterrieth, M., Frayssinet, L., Benvenuto, L., Donna, R., Paolicchi, M., Frayssinet, C., y Morel, E. M. (2019). Sílice amorfa y biogeoquímica del silicio en secuencias pedosedimentarias del sudeste bonaerense. In V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU)(La Plata, 12 al 14 de junio

de 2019).

- Oyeyinka, A. T., and Oyeyinka, S. A. (2018). *Moringa oleifera* as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 127-136.
- Oz, D. (2014). Moringa news, articles and information: Moringa: A miracle tree being promoted as a solution to third world malnutrition. Recuperado de: <http://www.naturalnews.com/moringa.html>.
- Paco, G., Loza-Murguía, M., Mamani, F., y Sainz, H. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(2), 24-39.
- Padayachee, B., and Baijnath, H. (2012). An overview of the medicinal importance of Moringaceae. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(48), 5831-5839.
- Padilla, C., Fraga, N., Scull, I., Tuero, R., y Sarduy, L. (2014). Efecto de la altura de corte en indicadores de la producción de forraje de *Moringa oleifera* vc. Plain. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4), 405-409.
- Padilla, C., Valenciaga, N., Crespo, G., González, D., y Rodríguez, I. (2017). Requerimientos agronómicos de *Moringa oleifera* (Lam.) en sistemas ganaderos. *Development*, 29, 11.
- Paniagua, A., y Chora, J. (2016). Elaboración de Aceite de semillas de *Moringa Oleífera* para diferentes usos. *Revista de Ciencias de la Salud*, 3(9), 36-46.
- Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N., y Reyes, F. (2010). Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark: Una alternativa para la

alimentación animal. *Pastos y forrajes*, 33(4), 1-1.

Pérez, J. C. R., y Mancilla, C. L. A. (2012). El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *Conciencia tecnológica*, (43), 42-46.

Pradas, P. A. (2020). Tratamiento de residuos orgánicos mediante vermicompostaje: interacciones lombriz-microorganismo y aplicaciones biotecnológicas del vermicompost (Tesis de fin de grado). Universidad de la Laguna. Recuperado de: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21696>

Reyes, S. (2004). *Marango: Cultivo y utilizacion en la alimentacion animal*. Universidad Nacional Agraria, Dirección de Investigación, Extensión y Postgrado, Managua (Nicaragua).

Roa, M. (2003). Producción de semillas forestales de especies forrajeras enfatizadas en sistemas silvopastoriles. Departamento de Promoción Forestal/ Dirección de Fomento Forestal / INAFOR.

Romero, N. (1997). Métodos de análisis para la determinación de nitrógeno y constituyentes nitrogenados en alimentos. *Depósitos de Documentos de la FAO. Departamento de Agricultura.[internet]* Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/ah833s17.htm>.

Ruiz, C., Alegria, A., Barbera, R., Farre, R., and Lagarda, M. J. (1998). Selenium, zinc and copper in plasma of patients with type 1 diabetes mellitus in different metabolic control states. *Journal of trace elements in medicine and biology*, 12(2), 91-95.

Saini, R. K., Sivanesan, I., and Keum, Y. S. (2016). Phytochemicals of *Moringa oleifera*: a review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. 3 *Biotech*, 6(2), 203.

- Sánchez-Peña, Y. A., Martínez-Ávila, G. C. G., Sinagawa-García, S. R., y Vázquez-Rodríguez, J. A. (2013). *Moringa oleífera*; importancia, funcionalidad y estudios involucrados. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9), 25-30.
- Saucedo-Pompa, S., Torres-Castillo, J. A., Castro-López, C., Rojas, R., Sánchez-Alejo, E. J., Ngangyo-Heya, M., and Martínez-Ávila, G. C. G. (2018). Moringa plants: Bioactive compounds and promising applications in food products. *Food Research International*, 111, 438-450.
- Semarnat. (2002). Norma Oficial Mexicana. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. NOM-021-RECNAT-2000. pp 1-30. Recuperado de: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/rn/rn021-02.pdf>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2018). Normales Climatológicas del estado de Nuevo León. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Singh, A. K., Rana, H. K., Tshabalala, T., Kumar, R., Gupta, A., Ndhlala, A. R., and Pandey, A. K. (2020). Phytochemical, nutraceutical and pharmacological attributes of a functional crop *Moringa oleifera* Lam: An overview. *South African Journal of Botany*, 129, 209-220.
- Sreelatha, S., y Padma, P. R. (2009). Actividad antioxidante y contenido fenólico total de hojas de *Moringa oleifera* en dos etapas de madurez. *Los alimentos vegetales Hum. Nutr*, 64, 303-311.
- Tapia Cortez, J. A. (2019). *Efectos del silicio en la resistencia a plagas en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.)*. Tesis de licenciatura BABAHOYO, UTB. Recuperado

de: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6905>.

- Toral, O., Reino, J., Santana, H., y Cerezo, Y. (2013). Caracterización morfológica de ocho procedencias de *Moringa oleifera* (Lam.) en condiciones de vivero. *Pastos y Forrajes*, 36(4), 409-416.
- Tshabalala, T., Ncube, B., Madala, N. E., Nyakudya, T. T., Moyo, H. P., Sibanda, M., and Ndhlala, A. R. (2019). Scribbling the Cat: A Case of the “Miracle” Plant, *Moringa oleifera*. *Plants*, 8(11), 510.
- Valdez-Solana, M. A., Mejía-García, V. Y., Téllez-Valencia, A., García-Arenas, G., Salas-Pacheco, J., Alba-Romero, J. J., and Sierra-Campos, E. (2015). Nutritional content and elemental and phytochemical analyses of *Moringa oleifera* grown in Mexico. *Journal of Chemistry*, vol. 2015,1-9.
- Vázquez, J., y Loli, O. (2018). Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 43-52.
- Velázquez-Zavala, M., Peón-Escalante, I. E., Zepeda-Bautista, R., y Jiménez-Arellanes, M. A. (2016). *Moringa* (*Moringa oleifera* Lam.): usos potenciales en la agricultura, industria y medicina. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 22(2), 95-116.
- Verma, A. R., Vijayakumar, M., Mathela, C. S., and Rao, C. V. (2009). In vitro and in vivo antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves. *Food and Chemical Toxicology*, 47(9), 2196-2201.
- Villalón-Mendoza, H., Castillo-Villarreal, M. A., Garza-Ocañas, F., Guevara-González, J. A., y Sánchez-Castillo, L. (2018). Dióxido de silicio como estimulante del índice de calidad de plantas de chile piquín (*Capsicum annuum*

L. var. *glabriusculum*) producidas en vivero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(50), 294-303.

Villegas-Cornelio, V. M., y Laines Canepa, J. R. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 393-406.

Włodarczyk, T., Balakhnina, T., Matichenkov, V., Brzezińska, M., Nosalewicz, M., Szarlip, P., and Fomina, I. (2019). Effect of silicon on barley growth and N₂O emission under flooding. *Science of The Total Environment*, 685, 1-9.

Xiao, Z., Liu, M., Jiang, L., Chen, X., Griffiths, B. S., Li, H., and Hu, F. (2016). Vermicompost increases defense against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in tomato plants. *Applied Soil Ecology*, 105, 177-186.

Zainab, B., Ayaz, Z., Alwahibi, M. S., Khan, S., Rizwana, H., Soliman, D. W., and Abbasi, A. M. (2020). In-silico elucidation of *Moringa oleifera* phytochemicals against diabetes mellitus. *Saudi Journal Of Biological Sciences*, 27(9), 2299-2307.

Zhang, Y., Liang, Y., Zhao, X., Jin, X., Hou, L., Shi, Y., and Ahammed, G. J. (2019). Silicon compensates phosphorus deficit-induced growth inhibition by improving photosynthetic capacity, antioxidant potential, and nutrient homeostasis in tomato. *Agronomy*, 9(11), 733.